

Л.М.Капчинский

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Издательство «Радио и связь»



Основана в 1947 году
Выпуск 1216

Л.М.Капчинский

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

2-е издание, стереотипное



Москва
«Радио и связь»
1995

ББК 32.845
К20
УДК 621.396.677

Капчинский Л. М.

К20 Конструирование и изготовление телевизионных антенн.— 2-е изд., стереотип.— М.: Радио и связь, 1995.— 00 с.: ил.— (Массовая радиобиблиотека; Вып. 1216).

ISBN 5-256-01257-6.

Приведены конструкции различных типов телевизионных антенн, указаны их параметры и принципы действия.

Даны практические рекомендации по выбору антенн для различных условий приема, описаны способы изготовления, установки, грозозащиты и ориентирования антенн.

Рассмотрены особенности приема телевизионных передач в городской и сельской местности, а также пути улучшения качества принимаемого изображения. Указаны источники помех телевизионному приему, способы борьбы с ними, приведены схемы и конструкции помехоподавляющих фильтров. Даны параметры и конструктивные данные радиочастотных кабелей промышленного изготовления. Первое издание вышле в 1993 г.

Для широкого круга радиолюбителей и работников, занимающихся ремонтом телевизоров и антенн.

К $\frac{2302020300\text{-}000}{046(01)\text{-}96}$ Без объявл. **ББК 32.845**

Научно-популярное издание

Массовая радиобиблиотека. Вып. 1216

Капчинский Лев Михайлович

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Зав. редакционным отделом *Ю. Г. Ивашов*
Редактор *И. Н. Суслова*
Художественный и технический редактор *Т. Н. Зыкина*
Корректор *Н. В. Козлова*

ИБ № 2670

ЛР № 010164 от 04.01.92
Сдано в набор 8.07.96 Подписано в печать 10.04.95
Формат 60×84/16 Бумага газетная Гарнитура литературная Печать высокая
Усл. печ л. 6,98 Усл. кр.-отт. 7,21 Уч.-изд. л. 8,81 Доп. тираж. 10 000 экз.
Изд. № 23916 Зак. № 8 С-025

Издательство «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь». 101000, Москва, Почтамт, а/я 693

ISBN 5-256-01257-6

Предисловие

Получить высококачественное изображение на экране телевизора можно только при правильно выбранной, тщательно изготовленной и установленной антенне.

Условия приема телевизионных передач разнообразны. В городах с разноэтажной застройкой многие здания находятся в теневых зонах, поэтому принимаемый сигнал становится слабым и неустойчивым, а иногда прием телевизионных передач и вовсе невозможен. Трудноустранимые помехи на экране телевизора в виде повторных изображений создаются телевизионными сигналами, отраженными от зданий, строительных кранов, линий электропередач, а также сигналами, наведенными электромагнитным полем непосредственно на входные цепи телевизора. Источником интенсивных помех, особенно в городах, являются излучения, связанные с работой радиостанций различного назначения, промышленных предприятий, медицинских учреждений. В сельской местности сложные условия приема возникают в низинах, непосредственно за лесными массивами и железнодорожными насыпями, на большом удалении от телевизионных центров и ретрансляторов в зоне слабого сигнала. Очень сложны условия приема в районах с сильно пересеченным рельефом местности, особенно в горных районах.

Качество изображения в сложных условиях приема можно значительно улучшить применением остронаправленной антенны и правильным выбором места ее установки. Поэтому радиолюбители, особенно в сельской местности, уделяют большое внимание вопросам конструирования эффективных телевизионных антенн и создают в ряде случаев интересные и оригинальные конструкции.

В книге рассматриваются некоторые важные для радиолюбителей вопросы, связанные с конструированием, изготовлением и установкой телевизионных антенн, описываются основные виды помех и способы борьбы с ними, излагается методика измерений, основных параметров телевизионных антенн.

ГЛАВА 1.

ОСОБЕННОСТИ ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАЧ

Частотные каналы телевизионного вещания

Для создания современных средств радиосвязи широко используются микроволновые диапазоны волн. По международной классификации к микроволновым диапазонам относят метровые волны (диапазон очень высоких частот (ОВЧ) 30 ... 300 МГц, длины волн от 10 до 1 м), дециметровые волны (диапазон ультравысоких частот (УВЧ) 300 ... 3000 МГц, длины волн от 1 до 0,1 м), сантиметровые волны (диапазон сверхвысоких частот (СВЧ) 3 ... 30 ГГц, длины волн от 0,1 до 0,01 м) и миллиметровые волны (диапазон крайне высоких частот (КВЧ) 30 ... 300 ГГц, длины волн от 0,01 до 0,001 м).

Микроволновые диапазоны используются для служебной радиосвязи, радиовещания с частотной модуляцией, радиолокации. Для телевизионного вещания также применяются микроволновые диапазоны волн — метровые (ОВЧ) и дециметровые (УВЧ) волны.

Выбор метровых и дециметровых волн для телевизионного вещания не случаен. Дело в том, что телевизионное изображение несет большой объем информации и для его передачи нужна широкая полоса частот. Чем больше мелких деталей изображения нужно передать, т. е. чем выше требуемая четкость изображения, тем шире полоса частот, необходимая для передачи этого изображения. В нашей стране, а также в ряде других стран принят стандарт разложения изображения на 625 строк, что соответствует высшей модулирующей частоте примерно 6 МГц. При амплитудной модуляции, с которой производится передача телевизионного изображения, полоса частот, занимаемая одним телевизионным каналом, должна составлять 12 МГц. Так как передача телевизионного изображения производится с частично подавленной нижней боковой полосой, то фактическая полоса частот, требуемая для передачи одного телевизионного канала (с учетом полосы чстот 500 кГц, занимаемой каналом звукового сопровождения с частотной модуляцией), несколько меньше и составляет 8 МГц.

Рассмотрим, какие диапазоны частот могут быть использованы для передачи сигналов с такой широкой полосой частот. Километровые (длинные) волны (ДВ), занимающие диапазон частот 30 ... 300 кГц, и гектаметровые (средние) волны (СВ), занимающие диапазон частот 300 ... 3000 кГц, для телевизионного вещания вообще могут быть использованы, так как занимаемые этими

волнами диапазоны меньше полосы частот одного телевизионного канала. На декаметровых (коротких) волнах (КВ), занимающих полосу частот 3 ... 30 МГц, могут быть размещены два-три телевизионных канала. Однако при современных объемах телевизионного вещания такого числа каналов недостаточно. Кроме того, при использовании декаметровых волн для телевизионного вещания не останется частот для таких важных радиослужб, как коротковолновая радиосвязь и радиовещание.

Таким образом, единственные диапазоны, пригодные для телевизионного вещания, — это микроволновые диапазоны, обладающие большой частотной вместительностью и позволяющие размещать десятки телевизионных каналов. Из всех микроволновых диапазонов наиболее пригодными для телевизионного вещания являются метровый и дециметровый, так как в этих диапазонах в отличие от сантиметрового и миллиметрового могут быть созданы передатчики мощностью десятки и сотни киловатт в режиме непрерывного излучения, а также относительно простые по конструкции приемные устройства, передающие и приемные антенны.

В первый период развития телевизионного вещания (конец 1940-х — начало 50-х годов) использовались в основном телевизионные каналы, частоты которых расположены в длинноволновой части метрового диапазона, так как применяемая на этих частотах передающая и приемная аппаратура была к тому времени хорошо освоена. В Москве, например, в эти годы телевизионное вещание велось только на двух каналах — первом и третьем. В дальнейшем были введены еще два канала метрового диапазона — восьмой и одиннадцатый, а также один канал дециметрового диапазона — тридцать третий.

В нашей стране для телевизионного вещания выделены 12 каналов метрового и 40 дециметрового диапазонов. Частоты этих каналов приведены в табл. 1 и 2.

Радиолюбители и телезрители часто интересуются, как выделяются частотные каналы для телецентров и ретрансляторов. С учетом перспективных планов

Таблица 1. **Телевизионные каналы метровых волн**

Номер канала	Полоса частот, МГц	Несущая частота, МГц		Средняя частота, МГц	Средняя длина волны,
		сигнал изображения	сигнал звука		
1	48,5 ... 56,5	49,75	56,25	52,5	5,71
2	58 ... 66	59,25	65,75	62	4,84
3	76 ... 84	77,25	83,75	80	3,75
4	84 ... 92	85,25	91,75	88	3,41
5	92 ... 100	93,25	99,75	96	3,13
6	174 ... 182	175,25	181,75	178	1,69
7	182 ... 190	183,25	189,75	186	1,61
8	190 ... 198	191,25	197,75	194	1,55
9	198 ... 206	199,25	205,75	202	1,49
10	206 .. 214	207,25	213,75	210	1,43
11	214 ... 222	215,25	221,75	218	1,38
12	222 ... 230	223,25	229,75	226	1,33

Таблица 2. **Телевизионные каналы дециметровых волн**

Номер канала	Полоса частот, МГц	Несущая, частота, МГц		Средняя частота, МГц	Средняя длина волны,
		сигнал изображения	сигнал звука		
21	470...478	471,25	477,75	474	0,633
22	478...486	479,25	485,75	482	0,622
23	486...494	487,25	493,75	490	0,612
24	494...502	495,25	501,75	498	0,602
25	502...510	503,25	509,75	506	0,593
26	510...518	511,25	517,75	514	0,585
27	518...526	519,25	525,75	522	0,575
28	526...534	527,25	533,75	530	0,566
29	534...542	535,25	541,75	538	0,558
30	542...550	543,25	549,75	546	0,549
31	550...558	551,25	557,75	554	0,541
32	558...566	559,25	565,75	562	0,534
33	566...574	567,25	573,75	570	0,526
34	574...582	575,25	581,75	578	0,519
35	582...590	583,25	589,75	586	0,512
36	590...598	591,25	597,75	594	0,505
37	598...606	599,25	605,75	602	0,498
38	606...614	607,25	613,75	610	0,492
39	614...622	615,25	621,75	618	0,485
40	622...630	623,25	629,75	626	0,479
41	630...638	637,25	637,75	634	0,473
42	654...662	639,25	645,75	642	0,467
43	638...646	647,25	653,75	650	0,461
44	646 ..654	655,25	661,75	658	0,456
45	662...670	663,25	669,75	666	0,450
46	670...678	671,25	677,75	674	0,445
47	678...686	679,25	685,75	682	0,440
48	686...694	687,25	693,75	690	0,435
49	694...702	695,25	701,75	698	0,430
50	702...710	703,25	709,75	706	0,425
51	710 ..718	711,25	717,75	714	0,420
52	718...726	719,25	727,75	722	0,415
53	726...734	727,25	733,75	730	0,411
54	734...742	735,25	741,75	738	0,406
55	742 .750	743,25	749,75	746	0,402
56	750...758	751,25	757,75	754	0,398
57	758...766	759,25	765,75	762	0,394
58	766...774	767,25	773,75	770	0,390
59	774...782	775,25	781,75	778	0,386
60	782. .790	783,25	789,75	786	0,382

развития в стране многопрограммного телевизионного вещания разрабатываются сетки распределения частотных каналов. Создавая такие сетки, исходят из того, что необходимо обеспечить возможно более полное покрытие территории телевизионным вещанием. При этом телецентры и ретрансляторы, работающие на одинаковых частотах, должны быть расположены друг от друга на достаточно большом расстоянии, при котором были бы практически исключены вза-

имные помехи при приеме. Эти требования противоречивы в связи с ограниченным числом частотных каналов. Поэтому при необходимости принимаются дополнительные меры по снижению уровня взаимных помех, состоящие в использовании радиоволн, отличающихся видом поляризации.

Поляризация радиоволн, используемых при передаче телевизионных сигналов

Для передачи телевизионных сигналов могут использоваться радиоволны *горизонтальной* или *вертикальной* поляризации, отличающиеся расположением в пространстве линии действия электрических и магнитных сил, условно обозначаемых взаимно перпендикулярными векторами (направленными отрезками) напряженности электрического Е и магнитного Н полей, находящимися в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Если вектор Е расположен горизонтально (параллельно земле), а вектор Н — вертикально (перпендикулярно земле), то волна является горизонтально поляризованной. Если же вектор Е расположен вертикально, а вектор Н — горизонтально, то волна вертикально поляризованная.

Вид поляризации радиоволны определяется расположением и формой проводников передающей антенны. Антенна в виде горизонтально расположенных линейных проводников (например, горизонтальных вибраторов) или горизонтально ориентированной рамки излучает горизонтально поляризованные волны, а в виде вертикально расположенных линейных проводников или вертикально ориентированной рамки — вертикально поляризованные волны. Соответственно прием горизонтально поляризованных волн должен производиться антенной с горизонтально расположенными проводниками (например, антенной «волновой канал» с горизонтальными вибраторами), а вертикально поляризованных волн — антеннами с вертикально расположенными проводниками.

Применение радиоволн, отличающихся поляризацией, помогает, как указывалось выше, снизить уровень взаимных помех от телецентров и ретрансляторов, работающих в одинаковых частотных каналах. Поясним это на примере. Предположим, что два телецентра работают на одинаковых частотах и используют для вещания волны одной и той же поляризации (например, горизонтальной). В населенных пунктах, которые обслуживаются этими телецентрами, используются приемные антенны, соответствующие по поляризации принимаемым радиоволнам, т. е. антенны горизонтальной поляризации. При небольшом расстоянии между телецентрами возможно, что в одном или в обоих населенных пунктах будет одновременно приниматься сигнал «своего» телецентра как полезный и сигнал «чужого» телецентра (ослабленный) как помеха, что приведет к ухудшению качества изображения. Для снижения уровня помехи нужно один из телецентров перевести на вертикальную поляризацию. Тогда в том населенном пункте, где поляризация излученных радиоволн стала вертикальной, будут использоваться приемные антенны также вертикальной поляризации и уровень помехи от другого телецентра, где поляризация излученных волн осталась горизонтальной, уменьшится в среднем на 12 ... 15 дБ. Снизится уровень

помехи и в другом населенном пункте, так как используемые там приемные антенны горизонтальной поляризации будут принимать вертикально поляризованную помеху со значительным ослаблением.

Зоны телевизионного приема

Радиоволны, излученные передающей антенной, могут достигать точки приема двумя путями: либо распространяясь над земной поверхностью в приземном слое атмосферы, либо последовательно отражаясь от земли и ионосферы — слоя свободных электронов, окружающих землю на высотах от 80 км (нижняя граница ионосферы) до 400 км (верхняя граница ионосферы). В первом случае радиоволны называются *поверхностными,* во втором — *пространственными.* Электронная плотность различных слоев ионосферы зависит от времени суток и года, географической широты, фазы 11-летнего периода солнечной активности и т. д. В среднем электронная плотность ионосферы такова, что отражаться от нее могут только волны, частота которых меньше 30 МГц. Поэтому с помощью пространственных волн могут распространяться лишь километровые, гектаметровые и декаметровые волны. Радиоволны микроволновых диапазонов, в том числе метровые и дециметровые, на которых ведутся телевизионные передачи, распространяются только в виде поверхностных волн.

Радиоволны аналогично световым лучам распространяются в однородной среде по строго прямолинейным траекториям. Поэтому из-за сферичности Земли поверхностная волна может достичь приемной антенны лишь в том случае, если между ней и передающей антенной есть геометрическая видимость. Отсюда следует, что прием телевизионных передач возможен только в пределах геометрической видимости между приемной и передающей антеннами. В действительности дальность приема телевизионных передач несколько превышает дальность геометрической видимости, это связано с явлениями *дифракции* и *рефракции* волн.

Дифракция радиоволн — это физическое явление, состоящее в том, что радиоволны способны в определенной мере огибать препятствия, заходя в область тени за ними. Сферическая поверхность Земли также является препятствием, которое радиоволны могут огибать. Чем ниже частота радиосигнала, тем сильнее проявляется дифракция. Километровые и гектаметровые волны могут заходить за геометрический горизонт на сотни километров, декаметровые волны огибают кривизну Земли в меньшей степени, а на метровых и дециметровых волнах дифракция проявляется слабо, поэтому дальность приема телевизионных передач вследствие дифракции радиоволн возрастает незначительно.

Более существенный фактор, влияющий на дальность приема телевизионных передач, — атмосферная рефракция радиоволн. Земная атмосфера является средой неоднородной — плотность атмосферы, ее давление, влажность и температура изменяются с высотой. Кроме того, характер изменения указанных физических параметров атмосферы с высотой может меняться в зависимости от интенсивности солнечной радиации, времени суток и т. д. В неоднородной среде радиоволны преломляются и распространяются не прямолинейно, а по некоторым криволинейным траекториям, что приводит к заходу радиоволн за геометрический горизонт. Это явление называется рефракцией.

Рефракция свойственна электромагнитным волнам всех диапазонов, в том числе и световым волнам. Некоторые проявления оптической рефракции (преломление световых лучей в атмосфере) можно наблюдать в повседневной жизни — сплюснутая форма дисков Солнца и Луны у горизонта, мерцание звезд, дрожание далеких предметов в жаркий день, цветная кайма у диска восходящего или заходящего Солнца. Благодаря рефракции световых лучей солнечный диск еще полностью виден, тогда как при отсутствии рефракции он был бы целиком скрыт за горизонтом, что увеличивает продолжительность светового дня (в средних широтах на 8 ... 20 мин). Описаны случаи аномально большой атмосферной рефракции, когда на горизонте на короткое время появляются далекие горы, острова и т. д.

Существует понятие о так называемом среднем или нормальном состоянии атмосферы. Нормальное состояние атмосферы характеризуется определенным сочетанием ее физических параметров: температура воздуха на уровне моря +15° С, понижение температуры с высотой 0,65° С на каждые 100 м, понижение давления — по барометрической формуле, влажность не зависит от высоты. Атмосферная рефракция, соответствующая нормальному состоянию атмосферы, называется *нормальной атмосферной рефракцией*. Она приводит к увеличению дальности приема телевизионных передач в среднем на 15 ... 20%. Дальность прямой видимости R_0 в километрах при нормальной атмосферной рефракции может быть подсчитана по формуле

$$R_0 = 4{,}15(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}),$$

где h_1 и h_2 — высоты передающей и приемной антенн, м.

Например, при высоте установки передающей антенны $h_1=400$ м, приемной антенны $h_2=20$ м и дальность прямой видимости составляет 100 км.

С учетом явлений дифракции и нормальной атмосферной рефракции территорию вокруг передающей антенны телевизионного центра или ретранслятора можно с точки зрения возможностей приема телевизионных передач разделить на три зоны — *зону прямой видимости* (до $0{,}8R_0$), *зону полутени* (от $0{,}8R_0$ до $1{,}2R_0$), *зону* тени (более $1{,}2R_0$).

Зона прямой видимости (освещенная зона) характеризуется устойчивым уровнем сигнала, достаточным для высококачественного приема цветного изображения. Вместе с тем в пределах этой зоны могут быть отдельные территории с недостаточным уровнем сигнала, что следует учитывать при выборе типа антенны и места ее установки. Например, спад уровня сигнала и значительное ухудшение качества приема возможно, как показали исследования, проведенные в Москве в период подготовки к Олимпийским играм 1980 г., в отдельных точках в непосредственной близости к передающей антенне телевизионного центра. Это объясняется тем, что главный лепесток диаграммы направленности передающей антенны в вертикальной плоскости является весьма узким (от 2 ... 3° на дециметровых до 10 ... 12° на метровых волнах) и в радиусе до 2 ... 3 км от башни прием телевизионных сигналов ведется благодаря боковым лепесткам диаграммы Уменьшение уровня сигнала на 15 ... 20 дБ наблюдается также в отдельных точках на расстояниях до 12 ... 15 км от телецентра, что связано с интерференцией (сложением или вычитанием) прямого сигнала

от передающей антенны и сигнала, отраженного от Земли. Ухудшение качества приема в освещенной зоне возможно также в районах с пересеченным рельефом местности, а также в городах с разноэтажной застройкой, где за высокими зданиями образуются зоны тени.

Во всех перечисленных выше случаях качество приема можно, как правило, улучшить применением остронаправленных антенн и выбором места их установки, а в особенно сложных случаях (например, на сильно пересеченной местности) — установкой маломощного телевизионного ретранслятора.

Зона полутени характеризуется относительно слабым и нестабильным сигналом, возможны замирания сигнала. Нестабильность сигнала в зоне полутени вызвана следующими причинами. При изменении состояния атмосферы меняется степень рефракции, что эквивалентно приближению или удалению видимого горизонта. В этих условиях приемная антенна в некоторые моменты может оказываться в зоне тени, а затем выходить из нее в освещенную зону. Соответственно происходит уменьшение или увеличение напряженности поля в точке установки приемной антенны. Для повышения качества приема в зоне полутени нужно поднимать антенну как можно выше, так как при этом уменьшается вероятность того, что при изменении состояния атмосферы антенна выйдет из освещенной зоны.

Зона тени характеризуется очень быстрым уменьшением напряженности поля с расстоянием. Качественный прием телевизионных передач в этой зоне практически невозможен, за исключением отдельных коротких отрезков времени, когда при значительных изменениях параметров атмосферы имеет место повышенная атмосферная рефракция. Вопросы приема в зоне тени, в том числе сверхдальнего приема, рассмотрены далее.

Телевизионный прием в городе

Качество телевизионного приема в современном городе, особенно при разноэтажной застройке, можно сравнить с качеством приема в местности с очень сложным рельефом. Наиболее характерными явлениями, определяющими качество приема в городе, являются возникновение *областей тени* и *повторных сигналов.*

Области тени образуются в местах, закрытых высокими зданиями от прямого сигнала телевизионного центра. Прием в области тени крайне неустойчив, и единственным способом осуществления высококачественного приема является вынос антенны на ближайшее высокое здание. На дециметровых волнах области тени являются более многочисленными, глубокими и резко очерченными, так как способность дециметровых волн к дифракции выражена слабее, чем на метровых. Установлено, что экранирующее действие препятствия практически не сказывается, если расстояние от него до места установки приемной антенны превышает высоту препятствия в 8--10 раз.

Повторные сигналы приводят к образованию помех на экране, особенно характерных для городов со сложным рельефом застройки. В точку установки приемной антенны приходят, как правило, несколько сигналов — основной сигнал от передающей антенны телевизионного центра и сигналы, отраженные от

зданий и других местных предметов (строительных кранов, линий электропередач и проводной связи и т. д.), причем отраженные сигналы проделывают больший путь, чем основной, и приходят позже основного. Поэтому повторное изображение наблюдается на экране телевизора правее основного. Так как скорость распространения электромагнитных волн составляет 300 000 км/с, то при разности хода отраженного и основного сигналов, равной 300 м, отраженный сигнал приходит в точку приема на 1 мкс позже основного. При таком запаздывании повторное изображение на экране телевизора с кинескопом 61 см по диагонали (длина строки 50 см, время прохождения строки лучом кинескопа 64 мкс) будет расположено на 8 мм правее основного.

Заметность повторных изображений на экране зависит от интенсивности отраженных сигналов и времени их запаздывания. Помеха, создаваемая повторным изображением, будет заметна на экране, если время запаздывания превышает 0,2 мкс, что соответствует разности хода отраженного и основного сигналов, равной 60 м. При небольших запаздываниях отраженные сигналы создают темные или светлые окантовки контуров изображения, а при значительных запаздываниях — вертикальные столбы в левой части экрана, представляющие собой пришедшие с запаздыванием строчные блокирующие импульсы.

Борьба с отраженными сигналами представляет собой очень сложную задачу. Наиболее эффективный способ — применение остронаправленных антенн и их оптимальное ориентирование, т. е. нахождение такого углового положения антенны, при котором отношение уровней отраженного и основного сигналов будет минимальным.

Принцип оптимального ориентирования изложен в гл. 9.

В некоторых случаях для подавления отраженных сигналов удается использовать экранирующие свойства зданий. Поясним это на практическом примере. В Москве в центральной части города, недалеко от Смоленской площади, на крыше восьмиэтажного здания в точке А (рис. 1) была установлена приемная антенна системы коллективного приема телевидения (на рис. 1 масштаб не соблюден). При подключении телевизионного приемника, имеющего кинескоп с диагональю 61 см, на экране наблюдалось интенсивное повторное изображение, расположенное правее основного на 10 мм. Возникло предположение, что источником отраженной волны является группа высотных зданий на проспекте Калинина. Для проверки этого предположения была определена по плану города разность расстояний (разность хода), пройденных прямым и отраженным лучами. Расстояние ВА, пройденное прямым лучом (от Останкинской башни до точки установки приемной антенны), составило 8000 м, а расстояние ВСА, пройденное отраженным лучом,— 8400 м. Таким образом, разность хода лучей оказалась равной 400 м, что соответствует запаздыванию отраженного луча на 1,33 мкс и соответственно сдвигу повторного изображения на экране кинескопа с диагональю 61 см на 10,4 мм. Близкое совпадение фактического и расчетного сдвига повторного изображения явилось косвенным подтверждением сделанного предположения об источнике отраженной волны. После определения вероятного направления прихода отраженной волны был произведен анализ взаимного расположения окружающих зданий в непосредственной близости к тому зданию, в котором производился прием. Анализ показал, что если точку

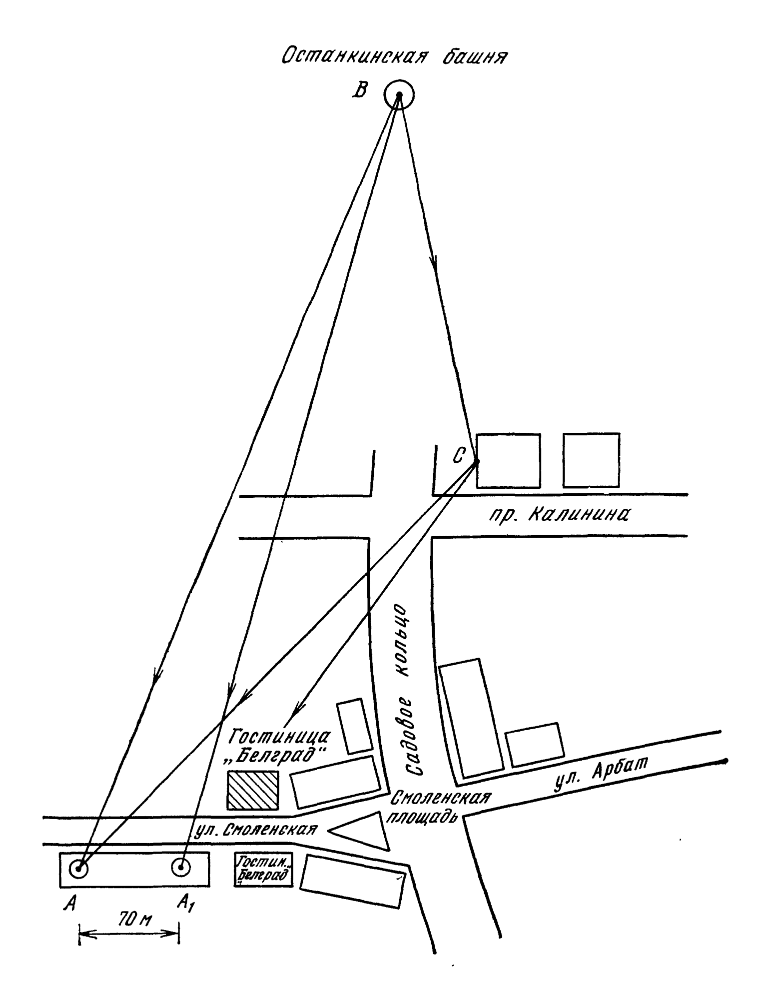


Рис. 1

установки приемной антенны переместить на 70 м вдоль фасада здания в противоположный конец крыши (из точки А в точку $А_1$), то близкорасположенное 16-этажное здание гостиницы (заштрихованный прямоугольник на рис. 1) оказывается экраном на пути отраженной волны. После переноса антенны из точки А в точку $А_1$ уровень повторного изображения на экране действительно снизился и качество изображения существенно улучшилось.

Помимо описанных выше запаздывающих ложных изображений, расположенных правее основного, при определенных условиях на экране телевизора могут появляться опережающие ложные изображения, расположенные левее основного. Эти ложные изображения в отличие от запаздывающих, стабильных

по уровню и положению на экране, являются неустойчивыми, меняющими интенсивность и положение на экране и субъективно более неприятными для глаза. Появление на экране опережающих ложных изображений возможно в тех случаях, когда напряженность поля в месте приема достаточно велика, а фидерная линия, соединяющая антенну с телевизором, имеет большую длину и соответственно большое затухание. Появление опережающих ложных изображений в этих условиях связано с тем, что сигнал, принятый антенной, поступает на вход телевизора значительно ослабленным и становится по уровню соизмеримым с тем сигналом, который наводится сильным внешним полем непосредственно на кабельную линию и входные цепи телевизора. Так как путь, проходимый наведенным сигналом, короче пути, проходимого по кабельным линиям сигналом, принятым антенной, то ложное изображение является опережающим и расположено на экране левее основного.

Наиболее радикальным способом борьбы с запаздывающими и опережающими ложными сигналами является устройство крупных систем коллективного приема телевидения. Такие системы, каждая из которых обслуживает несколько тысяч или десятков тысяч абонентов, обеспечивают получение высококачественного изображения практически без ложных сигналов. Для устранения запаздывающих ложных сигналов используются сложные остронаправленные антенны, место установки которых тщательно выбирается. Устранение опережающих ложных сигналов достигается преобразованием частоты принимаемого канала в частоту другого канала, который в данной местности не используется и является свободным.

Влияние рельефа местности на качество телевизионного приема

Уровень напряженности поля и соответственно качество приема телевизионных сигналов сильно зависят от особенностей рельефа местности, это необходимо учитывать при выборе места установки антенны и высоты ее опоры.

На местности часто встречаются препятствия в виде холмов, дамб, железнодорожных насыпей, за которыми образуются зоны тени, вследствие чего резко уменьшается напряженность поля. Рассмотрим, например, характер изменения напряженности поля за холмом или железнодорожной насыпью (рис. 2), расположенными в зоне прямой видимости. При подъеме по склону, обращенному к телевизионному центру (от точки а до точки б), напряженность поля остается примерно постоянной или слабо растет, достигая максимума на вершине холма (точка б). На заднем склоне напряженность поля убывает сначала слабо, а затем более резко, достигая минимума у подножья холма (точка в). При удалении от холма напряженность поля начинает плавно расти и достигает примерно того же уровня, что и на переднем склоне, на расстоянии, равном (5...6)h, где h — высота холма. Таким образом, за холмом образуется зона тени (заштрихованная область). Для обеспечения качественного приема за холмом следует выбрать высоту опоры с таким расчетом, чтобы антенна была выше верхней границы зоны тени либо установить антенну на расстоянии, превышающем высоту холма в 5—6 раз.

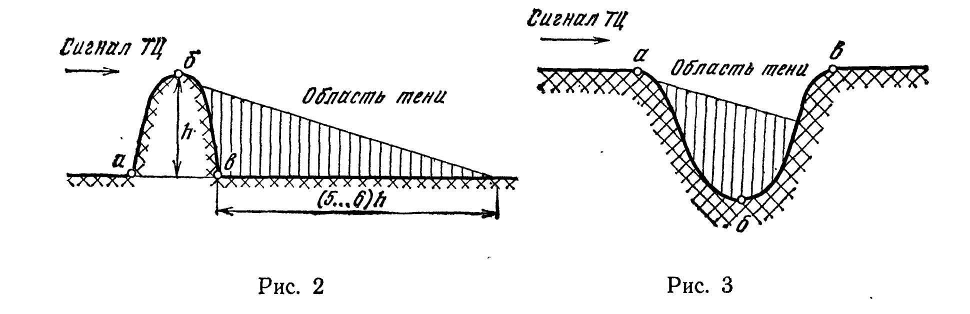


Рис. 2 Рис. 3

Зоны тени могут образовываться также в оврагах и низинах (рис. 3). При этом напряженность поля уменьшается тем больше, чем круче и глубже передний склон низины и выше частота телевизионного канала. По мере спуска в низину по ее переднему склону (от точки а до точки б на рис. 3) напряженность поля постепенно убывает, достигая минимума на дне низины. При подъеме по противоположному склону (от точки б до точки в) напряженность поля возрастает, достигая на его вершине (в точке в) примерно того же уровня, что и перед низиной (в точке а). Таким образом, в низине образуется зона тени (заштрихованная область), занимающая практически весь передний склон и основание низины. На верхней части противоположного склона напряженность поля выше и качество приема лучше. Если передний склон пологий, т. е. глубина низины или оврага много меньше длины склона, то ослабление поля на переднем склоне и на дне относительно невелико и во многих случаях может быть обеспечен нормальный прием. На практике встречаются низины с очень крутым передним склоном (например, обрывы у берегов рек) и обеспечить нормальный прием в местах, близкорасположенных к основанию склона, вообще невозможно. В этих случаях используются телевизионные ретрансляторы, установленные в верхней части склона в области сильного сигнала.

Существенное влияние на качество приема телевизионных передач оказывают лесные массивы. Если место приема расположено за лесом в непосредственной близости к его кромке и высота установки приемной антенны ниже средней высоты деревьев, то уровень сигнала на входе телевизионного приемника уменьшается в несколько раз, что может привести к ухудшению качества приема. Снижение уровня сигнала часто сопровождается его случайными изменениями, особенно при сильном ветре. В длинноволновой части метрового диапазона волн (каналы с 1 по 5) колебания уровня напряженности поля при вертикальной поляризации больше, чем при горизонтальной. По мере роста частоты размах колебаний напряженности поля при вертикальной поляризации несколько уменьшается, а при горизонтальной — увеличивается. В дециметровом диапазоне нестабильность уровня напряженности поля примерно одинакова при обеих видах поляризаций.

По мере удаления от кромки леса уровень напряженности поля возрастает, а ее случайные колебания уменьшаются. На расстоянии 200 ... 300 м от границы леса влияние его на качество приема практически отсутствует.

Внутри лесного массива уровень напряженности поля меняется от точки к точке, что объясняется интерференционными явлениями — сложением и вычитанием волн, отраженных от деревьев и высоких кустарников. Особенно сильно это сказывается на полянах и опушках. Например, в пределах небольшой поляны, окруженной лесом, колебания напряженности поля могут доходить до 15 ... 20 дБ.

Уменьшение напряженности поля в лесу и на границе леса связано с тем, что деревья и высокие кустарники являются своего рода вторичными излучателями, которые не только поглощают электромагнитную энергию, но и рассеивают ее. При этом влажные деревья вносят большее затухание, чем сухие. Замечено, что снижение уровня сигнала чаще всего происходит при сильном гололеде и мокром снеге, а также при затяжных дождях. Для улучшения качества приема непосредственно за границей леса нужно поднять антенну выше средней высоты леса. По мере удаления от леса высоту установки антенны можно уменьшить, а на расстоянии более 200 ... 300 м от него высота установки антенны может быть выбрана такой же, как и при отсутствии леса.

Особенно сложны условия приема на сильнопересеченной местности и в горных районах. За горами и горными кряжами образуются протяженные зоны тени, в которых прием вообще невозможен. Многократные отражения радиоволн от горных склонов приводят к появлению повторных сигналов, которые искажают телевизионное изображение.

В практике телевизионного приема в горных условиях наблюдается иногда явление, получившее название *усиления сигнала за счет препятствия*. Это явление состоит в том, что напряженность поля за горой или горным кряжем может иногда быть больше, чем при передаче сигнала над гладкой сферической поверхностью. Причина такого явления состоит в том, что если гора имеет клиновидную форму, то ее вершина переизлучает телевизионный сигнал в различных направлениях и в некоторых точках за горой может происходить синфазное сложение двух или нескольких волн — прямой волны, переизлученной вершиной, и волн, отраженных от земли после их переизлучения. В точке синфазного сложения волн происходит значительное увеличение напряженности поля.

Следует предостеречь от распространенной ошибки, связанной с практическим использованием этого явления. Дело в том, что эффект увеличения сигнала за горой или горным кряжем может, как правило, проявляться лишь на длинных трассах, т. е. в тех случаях, когда точка приема находится далеко от телецентра в зонах полутени или тени, обусловленных сферичностью земли. Иначе говоря, об увеличении сигнала можно говорить только по отношению к тому слабому дифракционному сигналу, который имел бы место в точке приема, расположенной в зонах полутени или тени, при отсутствии горного кряжа. Поэтому при приеме в горах на явление усиления сигнала за счет препятствия особых надежд возлагать не следует, тем более что на практике часто встречаются препятствия, сильно отличающиеся от клиновидных (например, горы с плоской и неровной вершиной, ряды следующих друг за другом гор разной высоты и т. д.), когда явление усиления сигнала не имеет места.

На практике единственно надежным способом обеспечить качественный прием телевизионных передач в горах является применение телевизионных ре-

трансляторов. В горных районах обычно используются ретрансляторы мощностью 1 и 10 Вт, позволяющие обеспечить прием телевизионных передач в селениях, расположенных в низинах и на обратных склонах гор.

Свердальний прием телевизионных передач

Известны случаи кратковременного приема телевизионных передач на расстояниях, в десятки раз превышающих дальность видимого горизонта. Причины таких явлений — особые (аномальные) состояния атмосферы и ионосферы, существенно отличающиеся от нормальных. При определенных сочетаниях параметров атмосферы и ионосферы в отдельные промежутки могут возникать условия, способствующие сверхдальнему приему телевизионных передач. Приведем несколько примеров.

Летом в течение жаркого дня почва интенсивно прогревается, а вечером начинает быстро охлаждаться. Температура воздуха в приземном слое уменьшается, а на большой высоте остается примерно той же, что и днем. В этих условиях температура воздуха с высотой возрастает, а не убывает, как при нормальном состоянии атмосферы. Обратный ход (инверсия) температуры приводит к тому, что плотность воздуха уменьшается с высотой значительно быстрее, чем обычно. В результате быстрого убывания плотности воздуха возникает явление *сверхрефракции,* которое состоит в том, что кривизна траектории радиоволны при ее преломлении в атмосфере возрастает настолько, что волна возвращается обратно на землю. Отразившись от земли, волна опять в результате рефракции возвращается на землю и т. д. В приземном слое возникает своего рода волновод, по которому волна может распространяться на очень большое расстояние. Долго существовать приземный волновод не может, так как с наступлением дня снова начинается интенсивный прогрев почвы, воздух у поверхности земли нагревается, инверсия температуры пропадает и приземный волновод исчезает. Явление сверхрефракции может также возникать в жаркие дни над морями, а также в районах антициклона. Нужно отметить, что приземные волноводы возникают сравнительно редко и являются образованиями неустойчивыми. Поэтому длительный сверхдальний прием телевизионных передач благодаря явлению сверхрефракции невозможен.

Существуют и другие явления в атмосфере, которые могут приводить к сверхдальнему приему телевизионных передач. В атмосфере возникают иногда случайные объемные неоднородности, которые рассеивают радиоволны и служат своеобразными пассивными ретрансляторами. Объемные неоднородности долго существовать не могут, и длительность сверхдальнего приема телевизионных передач вследствие рассеяния радиоволн на этих неоднородностях не превышает нескольких часов.

Свердальний прием телевизионных передач возможен также из-за некоторых явлений в ионосфере. В нормальных условиях метровые и дециметровые волны от ионосферы отражаться не могут. В годы максимума солнечной активности возрастает электронная плотность слоя, и зимой в дневное время она может достигать таких высоких значений, что вследствие отражений от этого слоя становится возможным прием телевизионных передач в длинноволновой

части метрового диапазона волн (на первом и втором каналах). Спародический слой ионосферы также имеет иногда повышенную электронную плотность, достаточную для отражения волн метрового диапазона. Однако этот слой появляется нерегулярно (преимущественно летом в южных широтах днем) и предсказать время его появления трудно. В ионосфере могут также возникать неоднородности — отдельные области с повышенной электронной плотностью. Эти неоднородности, как и неоднородности в атмосфере, рассеивают радиоволны и служат причиной кратковременного приема телевизионных передач на расстояниях от 1500 ... 2000 км. Повышение электронной плотности отдельных участков ионосферы происходит также при попадании в ионосферу метеорных потоков. Прием благодаря отражениям от метеорных слоев с повышенной ионизацией длится несколько секунд.

Многочисленные эксперименты, проделанные радиолюбителями и радиоспециалистами, показали, что обеспечить устойчивый дальний и сверхдальний прием телевизионных передач в течение длительного времени вследствие аномальных явлений в тропосфере и ионосфере не представляется возможным. Устойчивый прием возможен только при использовании спутниковых систем связи.

ГЛАВА 2. ПОМЕХИ И БОРЬБА С НИМИ

Виды и характер помех

Помехи, возникающие на экране телевизора, имеют искусственное либо естественное происхождение. Устранение помех или снижение их уровня — технически сложная задача, решить которую удается не всегда. Универсальных рецептов устранения помех нет и каждый раз решать эту задачу следует с учетом характера помех и их интенсивности. Оценку реальной электромагнитной обстановки в месте приема лучше всего производить с помощью специального прибора — анализатора спектра, позволяющего определять частоты радиоизлучений, являющихся возможными причинами помех, а также оценивать интенсивность этих радиоизлучений и вид модуляции. Каждый источник радиопомехи в зависимости от его частотного спектра создает свой характерный узор на экране телевизора. Поэтому при наличии достаточного опыта можно определить вероятный источник помехи по ее внешнему виду на экране, а также по времени и периодичности ее появления.

Помехи радиоприему можно разделить на два вида — помехи *естественного* и *искусственного* происхождения. Помехи естественного происхождения — атмосферные и космические на метровых и дециметровых волнах практически отсутствуют и на прием телевизионных передач не влияют. Основным видом помех телевизионному приему являются помехи искусственного происхождения.

К помехам искусственного происхождения относятся побочные и внеполосные излучения любительских и профессиональных радиопередатчиков (излучения вне разрешенной полосы частот), излучение гетеродинов радиовещательной

и профессиональной приемной аппаратуры, радиопомехи индустриального происхождения.

Побочные излучения радиопередатчиков включают в себя излучения на гармониках основных частот, возникающие в нелинейных каскадах передатчика (например, в усилителях с отсечкой тока), излучения на субгармониках, имеющие место в тех случаях, когда основное излучение формируется по промежуточной частоте с последующим умножением частоты, комбинационные излучения, появляющиеся при формировании несущей частоты путем нелинейного преобразования двух вспомогательных частот, паразитные излучения, случайно генерируемые на частотах, независимых от основных частот (например, самовозбуждение). Наряду с побочными излучениями помехи также могут создаваться внеполосными излучениями, которые возникают в процессе модуляции и непосредственно примыкают к разрешенной полосе частот.

Приемная аппаратура, работающая на КВ, может создавать помехи телевизионному приему за счет излучения на гармониках гетеродина, а приемники частотно-модулированных колебаний, тюнеры, конверторы (а также их комбинации), работающие на ОВЧ и УВЧ, — на основных частотах гетеродина.

Основными источниками индустриальных радиопомех являются электротранспорт (наземный городской и железнодорожный), устройства, содержащие двигатели внутреннего сгорания, промышленные, научные, медицинские и бытовые высокочастотные установки, сварочные аппараты, светильники с люминесцентными лампами, газосветные рекламы, высоковольтные линии электропередач.

Помехи, создаваемые побочными и внеполосными излучениями радиопередатчиков, имеют на экране телевизора вид темных неподвижных вертикальных или наклонных полос либо мелкоструктурной сетки. Помехи от гетеродинов радиовещательных приемников, конверторов, тюнеров также имеют вид вертикальных или наклонных полос, однако их количество и наклон непрерывно меняются. Электротранспорт (троллейбусы, трамваи, электропоезда), а также неисправные бытовые приборы создают помеху в виде нескольких светлых горизонтальных линий, либо непрерывных, либо состоящих из отдельных штрихов, возможны также срывы строчной синхронизации. Помехи от систем зажигания автомашин имеют аналогичный вид и проявляются в непосредственной близости (не более 30 ... 50 м) к движущемуся автотранспорту при достаточно интенсивном движении. Важно отметить, что помехи от троллейбусов, трамваев, бытовых приборов и автомашин наблюдаются только на длинноволновых каналах метровых волн (каналы с 1-го по 5-й), а помехи от электропоездов — на всех каналах метровых волн (каналы с 1-го по 12-й). На дециметровых волнах помехи от указанных источников практически отсутствуют. Промышленные, научные, медицинские и бытовые высокочастотные установки создают помехи, имеющие вид одной или нескольких широких горизонтальных полос, каждая из которых состоит из большого числа линий, образующих муар. При определенных условиях источником интенсивных помех может стать высоковольтная линия. Причиной появления помех от высоковольтной линии является коронный разряд с широким спектром частот и высокочастотные переходные процессы, содержащие большое число гармонических составляющих.

Помехи, создаваемые высоковольтной линией, становятся заметными во время дождя и при высокой влажности воздуха. Уровень этих помех резко возрастает при наличии набросов проволоки на проводе линии. На экране телевизора помехи от высоковольтных линий имеют вид большого числа чередующихся коротких светлых и темных штрихов. Источником помех является также электросварка. Создаваемая ею помеха проявляется, как правило, в виде широкой полосы, состоящей из многочисленных тонких линий, сильно изогнутых в горизонтальном направлении.

Как устранить или ослабить помеху на экране телевизора

Индустриальные помехи связаны в основном с искрообразованием, дугообразованием и другими видами электрических разрядов (дуговая сварка, высоковольтные линии электропередач, бытовые, медицинские и промышленные установки и т. д.). Такие помехи занимают широкий спектр частот и проявляются одновременно на нескольких телевизионных каналах. Устранить или ослабить индустриальные помехи методами частотной селекции практически невозможно. Однако следует учитывать, что эти помехи особенно заметны в радиусе до 200...300 м от источников помех. Поэтому, зная рисунок помехи на экране телевизора, ее интенсивность и периодичность появления, следует выяснить, нет ли в непосредственной близости от места приема возможных источников помех (электросварки, набросов проволоки на провода высоковольтной линии электропередачи, неисправной газосветной рекламы и т. д.).

При обнаружении таких источников необходимо принять требуемые технические и организационные меры по их устранению. При этом все работы с приборами и установками повышенной опасности должны производиться только представителями государственных специализированных служб. В практике телевизионного приема известны случаи, когда такие относительно простые меры, как снятие наброса на высоковольтную линию, перенос времени проведения электросварочных работ, своевременный ремонт и профилактика неисправного электрооборудования, позволяли устранить помеху или существенно снизить ее интенсивность. Нужно отметить, что весьма эффективным средством снижения уровня индустриальной помехи является также применение остронаправленных антенн с возможно меньшим уровнем задних и боковых лепестков диаграммы направленности.

Помехи телевизионному приему, связанные с побочными и внеполосными излучениями любительских и профессиональных радиопередатчиков, проявляются на расстояниях до нескольких километров от источника помех. В отличие от помех индустриального происхождения спектр частот таких помех ограничен и определяется в основном видом модуляции в передатчике и избирательностью его выходного каскада. Механизм воздействия этой помехи на телевизионное изображение зависит от расположения ее частотного спектра относительно полосы частот телевизионного канала. Если частота помехи лежит вне полосы частот телевизионного канала, но уровень ее достаточно велик, то вследствие малой избирательности входной цепи телевизора сигнал помехи

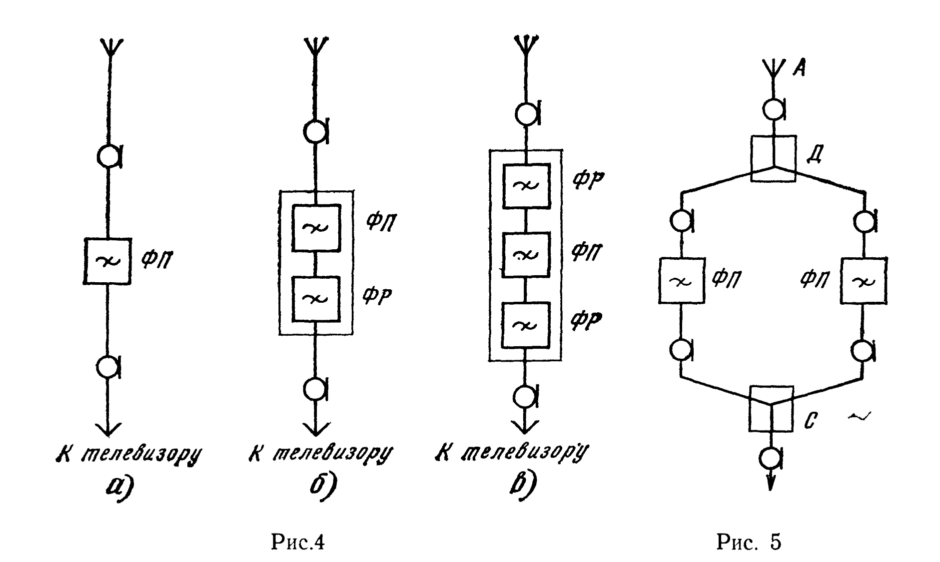


Рис.4 Рис. 5

переводит его входной каскад в нелинейный режим. Следствием этого является перекрестная модуляция, приводящая к возникновению помехи на экране телевизора (перекрестная помеха).

Перекрестная помеха может быть существенно ослаблена с помощью полосового фильтра (ФП), рассчитанного на пропускание рабочей полосы частот принимаемого телевизионного канала. В случае однопрограммного приема фильтр включают непосредственно между антенной и входом телевизора, как показано на рис. 4, а. Частота мешающего сигнала лежит при этом вне полосы прозрачности фильтра, в связи с чем этот сигнал ослабляется и уровень перекрестной помехи снижается. Если интенсивность мешающего сигнала очень велика и ослабление его оказывается недостаточным, то последовательно с полосовым фильтром следует включить один или два режекторных фильтра (ФР), настроенных на частоту мешающего сигнала (рис. 4, б, в). При использовании двух ФР их необходимо включить не друг за другом, а разделить ФП (рис. 4, в), что обеспечивает более эффективное подавление помехи.

При многопрограммном приеме подавление перекрестной помехи достигается более сложным путем. Рассмотрим, например, структурную схему подавления перекрестной помехи при двухпрограммном приеме (рис. 5). Сигнал, принятый антенной, предварительно разветвляется на два направления с помощью делителя мощности Д со взаимно развязанными выходами. В выходные плечи делителя Д включаются ФП, настроенные соответственно на частоты принимаемых каналов (например, в левое плечо — на 3-й канал, в правое — на 11-й канал). Сигналы с выходов фильтров складываются с помощью сумматора С со взаимно развязанными входами и поступают далее либо на вход телевизора, либо в распределительную сеть системы коллективного приема или кабельного телевидения. Делитель Д и сумматор С полностью аналогичны по

схеме и являются по свойствам взаимно обратимыми устройствами. Для изготовления устройства подавления перекрестной помехи при любом сочетании принимаемых каналов с 1-го по 12-й в качестве делителя Д и сумматора С можно использовать серийно выпускаемое распределительное телевизионное устройство РТУ-2 или телевизионное разветвительное устройство УТР-2.Н2. Если используется устройство РТУ-2, то для включения его в качестве делителя Д к зажиму Вход подключается антенна, к зажимам Т1 и Т2 — ФП, а в качестве сумматора С — к зажимам Т1 и Т2 подключаются выходы ФП, а к зажиму Вход — телевизор либо распределительная сеть системы коллективного приема или кабельного телевидения. Если же применяется устройство УТР-2.Н2, то для использования его в качестве делителя к зажиму Вход подключается антенна, к зажимам Выход 1 и Выход 2 — ФП, а в качестве сумматора С — к зажимам Выход 1 и Выход 2 подключаются выходы ФП, а к зажиму Вход — телевизор или соответствующая распределительная сеть.

Нужно подчеркнуть, что даже в том случае, если на одном из принимаемых каналов перекрестная помеха отсутствуют, ФП, настроенный на этот канал, должен быть обязательно включен в соответствующее плечо устройства. В противном случае сигнал, являющийся причиной перекрестной помехи на другом канале, попадет на выход устройства по плечу, в котором фильтр отсутствует.

Потери полезного сигнала в устройстве подавления перекрестной помехи при двухпрограммном приеме составляют 6...7 дБ. Отметим, что структурная схема подавления перекрестной помехи при многопрограммном приеме может быть построена на принципе, аналогичном описанному.

Наиболее сложным является случай, когда частота помехи попадает непосредственно в полосу частот телевизионного канала. Если сигнал помехи является узкополосным, то его можно несколько ослабить с помощью ФР, но при этом неизбежно появление специфических искажений — снижение четкости, пропадание отдельных деталей, размывание контуров и т. д.

ГЛАВА 3. ФИДЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Параметры и режимы работы фидерных линий

Фидерные линии характеризуются рядом параметров, из которых основными являются *волновое сопротивление, коэффициент укорочения длины волны* и *погонное затухание*. Эти параметры дают практически полное представление об электрических параметрах линии.

Волновое сопротивление $z_в$ — отношение амплитуды падающей волны напряжения к амплитуде падающей волны тока (падающая волна — волна, распространяющаяся по линии от генератора к нагрузке). Волновое сопротивление $z_в$, Ом, может быть определено через погонную индуктивность линии $L_п$, Гн/м, и погонную емкость линии $C_п$, Ф/м, по формуле

$$z_в = \sqrt{L_п/C_п}.$$

Для практических расчетов волновое сопротивление $z_в$, Ом, удобно определять по формуле

$$z_в = \frac{3300\sqrt{\varepsilon_{эф}}}{C_п},$$

где $\varepsilon_{эф}$ — эффективная относительная диэлектрическая постоянная изоляции линии.

Значение $\varepsilon_{эф}$ равно отношению $C_п/C_{п_0}$, где $C_{п_0}$ — погонная емкость этой же линии с воздушным заполнением. Для экранированных линий, полностью заполненных диэлектриком (например, для большинства радиочастотных кабелей), $\varepsilon_{эф} = \varepsilon$, где ε — относительная диэлектрическая постоянная материала изоляции.

В зависимости от соотношения между волновым сопротивлением линии и сопротивлением нагрузки различают три режима работы линии (рс. 6).

1. Сопротвление нагрузки чисто активно и равно волновому сопротивлению линии ($z_н = R = z_в$). В линии существуют только падающие волны напряжения и тока, распространяющиеся от генератора к нагрузке (рис. 6, б). Мощность, отдаваемая генератором, полностью поглощается в нагрузке. Режим работы линии называется режимом бегущей волны.

2. Сопротивление нагрузки равно нулю (режим короткого замыкания) либо бесконечно велико (режим холостого хода), либо имеет чисто реактивный ха-

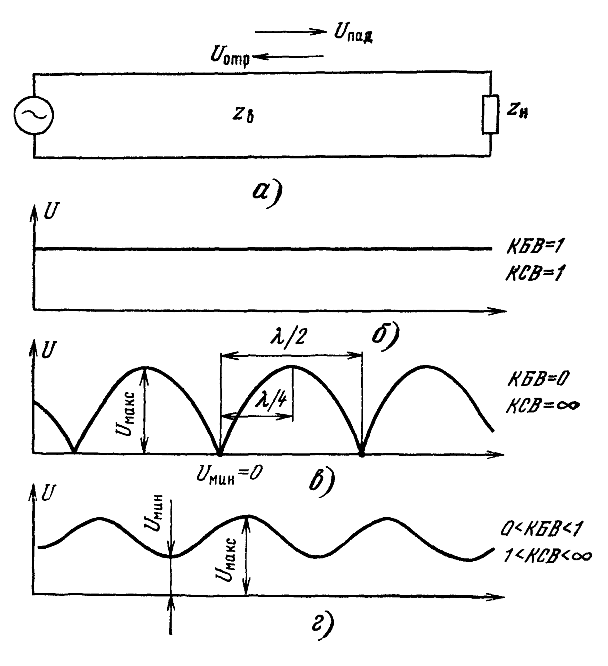


Рис. 6

рактер (индуктивный или емкостной). В линии существуют падающая и отраженная волны напряжения и тока, причем амплитуда отраженной равна амплитуде падающей волны (рис. 6, в). В сечениях линии, где падающая и отраженная волны напряжения (тока) синфазны, образуется максимум напряжения (тока), противофазны — нули напряжения (тока). Расстояние между соседними максимумами или нулями равно половине длины волны в линии между соседними максимумом и нулем — четверти длины волны в линии. Кривые распределения амплитуд напряжения и тока сдвинуты друг относительно друга на четверть длины волны в линии. В режиме короткого замыкания амплитуда напряжения на конце линии равна нулю, тока — максимальна. В режиме холостого хода амплитуда тока на конце линии равна нулю, напряжения — максимальна. Перенос мощности вдоль линии отсутствует. Мощность, поступающая в линию в виде падающей волны, возвращается в генератор в виде отраженной волны. Описанный режим работы линии называется режимом стоячей волны.

3. Сопротивление нагрузки чисто активно, но не равно волновому сопротивлению линии либо имеет активную и реактивную составляющие. В линии существуют падающая и отраженная волны напряжения и тока, причем амплитуда отраженной волны меньше амплитуды падающей (рис. 6, г). Мощность, поступающая из генератора в линию, частично поступает в нагрузку, частично отражается. Такой режим работы линии является промежуточным между режимами бегущей и стоячей волны.

Режим работы линии количественно характеризуется *коэффициентом бегущей волны* (КБВ), который равен отношению амплитуд напряжения в минимуме и максимуме распределения напряжения вдоль линии:

$$КБВ = U_{мин}/U_{макс}.$$

На практике часто пользуются обратной величиной — *коэффициентом стоячей волны* (КСВ):

$$КСВ = 1/КБВ.$$

Коэффициент бегущей волны может принимать значения от единиц (режим бегущей волны) до нуля (режим стоячей волны), КСВ — от единицы (режим бегущей волны) до бесконечности (режим стоячей волны). Режим фидерной линии можно оценивать как величиной КБВ, так и величиной КСВ. Например, если КБВ = 0,5, то соответствующая величина КСВ равна 2.

В расчетах режим работы фидерной линии иногда оценивают величиной *коэффициента отражения,* связанного со значениями КБВ и КСВ соотношениями

$$p = (1 - КБВ)/(1 + КБВ) \text{ или } p = (КСВ - 1)/(КСВ + 1).$$

Потери мощности в нагрузке N дБ, за счет рассогласования фидерной линии с нагрузкой определяются через коэффициент отражения p

$$N = 10 \lg (1/1 - p^2).$$

График зависимости потерь в нагрузке за счет рассогласования от коэффициента отражения приведен на рис. 7.

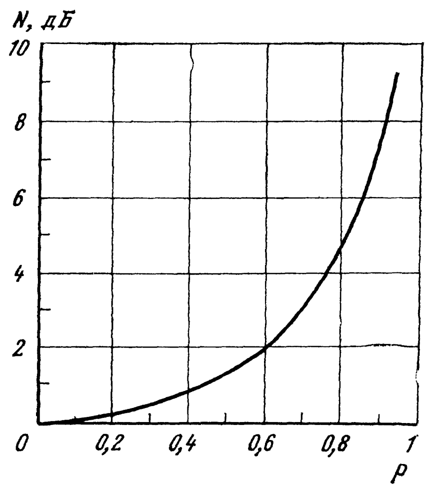


Рис. 7

Пример. Определить потери мощности в нагрузке (потери за счет рассогласования) при КСВ=3.

1. Коэффициент отражения

$$p=(\text{КСВ}-1)/(\text{КСВ}+1)=(3-1)/(3+1)=0{,}5.$$

2. Потери рассогласования (по графику рис. 7)

$$N=1{,}2 \text{ дБ}.$$

Коэффициент укорочения длины волны n — отношение длины волны в воздухе λ_0 к длине волны в фидерной линии $\lambda_к$:

$$n=\lambda_0/\lambda_к.$$

В воздушных линиях скорость распространения волны такая же, как в воздухе, поэтому длина волны в воздушной линии равна длине волны в воздухе ($\lambda_к=\lambda_0$, $n=1$). В экранированных линиях со сплошным заполнением диэлектриком (например, большинство гибких радиочастотных кабелей РК) $n=\sqrt{\varepsilon}$, а в экранированных линиях $n=\sqrt{\varepsilon_{эф}}$. При расчетах различных фидерных устройств (четвертьволновых трансформаторов, шлейфов, согласующе-симметрирующих устройств и т. д.) учет коэффициента укорочения длины волны обязателен.

Значения коэффициента укорочения для наиболее употребительных радиочастотных кабелей промышленного изготовления приведены в табл. 3.

Пример. Определить длину полуволнового согласующе-симметрирующего U-колена, выполненного из кабеля РК 75-4-15, для петлевого вибратора антенны «волновой канал» 3-го телевизионного канала ($f_{ср}=80$ МГц).

Таблица 3. **Радиочастотные кабели**

Марка	Волновое сопротивление, Ом	Погонная емкость, пФ/м	Коэффициент укорочения	Вид и материал изоляции	Размеры, мм			Рабочая температура, °С	Минимальный радиус изгиба, мм, при температуре	
					D	d_1	d_2		5° и выше	ниже 5°С
РК 75-1-11	75±7	67	1,52	Сплошная из полиэтилена	1,9±0,2	1±0,1	0,17	От —60 до +85	10	20
РК 75-1,5-11	75±5	67	1,52	То же	2,4±0,25	1,5±0,25	0,25	От —60 до +85	10	25
РК 75-2-11	75±3,5	67	1,52	—«—	3,5±0,3	2,2±0,1	0,37	От —60 до +85	20	40
РК 75-3-31	75±5	55	1,24	Полувоздушная на основе полиэтилена	5,5±0,3	2,95±0,15	0,69*	От —60 до +85	30	60
РК 75-4-11	75±3	67	1,52	Сплошная из полиэтилена	7,3±0,4	4,6±0,2	0,72	От —60 до +85	40	70
РК 75-4-12	75±3	67	1,52	То же	7,3±0,4	4,6±0,2	0,78**	От —60 до +85	40	70
РК 75-4-13	75±3	67	1,52	—«—	$7,6^{+0,4}_{-0,6}$	4,6±0,2	0,78**	От —40 до +70	30	60
РК 75-4-15	75±3	67	1,52	—«—	7,3±0,4	4,6±0,2	0,72	От —40 до +70	40	70
РК 75-4-16	75±3	67	1,52	—«—	7,3±0,4	4,6±0,2	0,78**	От —40 до +70	40	70
РК 75-7-11	75±3	67	1,52	—«—	9,5±0,6	7,25±0,25	1,13	От —60 до +85	50	100
РК 75-7-12	75±3	67	1,52	—«—	10,3+0,6	7,25±0,25	1,2***	От —60 до +85	50	100
РК 75-9-12	75±3	67	1,52	—«—	12,2±0,8	9,0±0,3	1,35	От —40 до +70	60	120
РК 75-9-13	75±3	67	1,52	—«—	12,2±0,8	9,0±0,3	1,35	От —60 до +85	60	120
РК 50-1-11	50±5	100	1,52	—«—	1,9±0,2	1,0±0,1	0,32	От —60 до +85	10	20
РК 50-1,5-11	50±3,5	100	1,52	—«—	2,4±0,25	1,5±0,1	0,47	От —60 до +85	10	25
РК 50-2-11	50±3	100	1,52	—«—	4±0,3	2,2±0,1	0,67	От —60 до +85	20	40
РК 50-4-11 [1]	50±2	100	1,52	—«—	9,6±0,6	4,6±0,2	1,37	От —60 до +85	50	100
РК 50-4-13	50±2	100	1,52	—«—	9,6±0,6	4,6±0,2	1,37	От —40 до +70	50	100
РК 50-7-11	50±2	100	1,52	—«—	10,3±0,6	7,25±0,25	2,28[4]*	От —60 до +85	50	100
РК 50-7-12	50±2	100	1,52	—«—	11,2±0,7	7,25±0,25	2,28[4]*	От —60 до +85	50	100
РК 50-7-15	50±2	100	1,52	—«—	10,3±0,6	7,25±0,25	2,28[4]*	От —40 до +70	50	100
РК 50-9-11	50±2	100	1,52	—«—	12,2±0,8	9,0±0,3	2,7[5]*	От —60 до +85	60	120
РК 50-9-12	50±2	100	1,52	—«—	12,2±0,8	9,0±0,3	2,7[5]*	От —40 до +70	60	120

[1] Двойной экран.

Примечание. Семь медных проволок диаметром ** 0,23; ** 0,26; *** 0,4; 4*0,76; 5*0,э9 мм.

1. Средняя длина волны 3-го канала

$\lambda_{ср}[м] = 300/f_{ср}[МГц] = 300/80 = 3{,}75$ м.

2. Средняя длина волны 3-го канала в кабеле РК 75-4-15. Согласно табл. 3 для кабеля РК 75-4-15 n=1,52.

$\lambda_{ср.к} = \lambda_{ср/n} = 3 \cdot 75/1{,}52 = 2{,}46$ м.

3. Длина полуволнового U-колена

$l_U = \lambda_{ср.к}/2 = 2{,}46/2 = 1{,}23$ м.

Погонное затухание β — затухание на единицу длины фидерной линии. Выражается обычно в децибелах на метр (дБ/м) или в неперах на километр (Неп/км). Погонное затухание наиболее употребительных радиочастотных кабелей промышленного изготовления приведено в табл. 4.

Полное затухание T в линии длиной l

$T = \beta l.$

Для перевода величины затухания, выраженного в децибелах, в неперы и обратно следует воспользоваться соотношением

1 Неп=8,58 дБ.

Таблица 4. **Погонное затухание радиочастотных кабелей**

Марка	Погонное затухание β, дБ/м, на телевизионных каналах								
	1	2	3	4	5	6—12	21—30	31—41	42—60
РК 75-1-11	0,260	0,300	0,340	0,380	0,400	0,550	0,900	0,960	1,000
РК 75-1,5-11	0,180	0,200	0,230	0,250	0,280	0,360	0,680	0,750	0,800
РК 75-2-11	0,160	0,180	0,210	0,230	0,250	0,320	0,600	0,670	0,720
РК 75-3-31	0,070	0,080	0,096	0,100	0,110	0,180	0,380	0,400	0,500
РК 75-4-11	0,065	0,075	0,088	0,094	0,100	0,150	0,280	0,330	0,380
РК 75-4-12	0,065	0,075	0,088	0,094	0,100	0,150	0,280	0,330	0,380
РК 75-4-13	0,065	0,075	0,088	0,094	0,100	0,150	0,280	0,330	0,380
РК 75-4-15	0,065	0,075	0,088	0,094	0,100	0,150	0,280	0,330	0,380
РК 75-4-16	0,065	0,075	0,088	0,094	0,100	0,150	0,280	0,330	0,380
РК 75-7-11	0,060	0,070	0,080	0,088	0,092	0,130	0,250	0,290	0,310
РК 75-7-12	0,060	0,070	0,080	0,088	0,092	0,130	0,250	0,290	0,310
РК 75-9-12	0,038	0,045	0,055	0,058	0,060	0,090	0,170	0,190	0,200
РК 75-9-13	0,038	0,045	0,055	0,058	0,060	0,090	0,170	0,190	0,200
РК 50-1-11	0,280	0,310	0,370	0,380	0,400	0,600	0,950	1,100	1,200
РК 50-1,5-11	0,190	0,210	0,260	0,280	0,290	0,400	0,690	0,780	0,850
РК 50-2-11	0,100	0,120	0,150	0,160	0,170	0,240	0,480	0,550	0,600
РК 50-4-11	0,065	0,075	0,090	0,095	0,100	0,160	0,300	0,320	0,360
РК 50-4-13	0,065	0,075	0,090	0,095	0,100	0,160	0,300	0,320	0,360
РК 50-7-11	0,053	0,060	0,073	0,077	0,082	0,110	0,230	0,260	0,300
РК 50-7-12	0,053	0,060	0,073	0,077	0,082	0,110	0,230	0,260	0,300
РК 50-7-15	0,052	0,060	0,073	0,077	0,082	0,110	0,230	0,260	0,300
РК 50-9-11	0,042	0,050	0,060	0,065	0,070	0,100	0,200	0,230	0,250
РК 50-9-12	0,042	0,050	0,060	0,065	0,070	0,100	0,200	0,230	0,250

Пример. Определить полное затухание T, дБ, в кабеле РК 75-9-12 длиной $l=50$ м на 5-м телевизионном канале.

1. Погонное затухание в кабеле РК 75-9-12 на 5-м телевизионном канале согласно табл. 4

$$\beta=0{,}06 \text{ дБ/м}.$$

2. Полное затухание

$$T=\beta l=0{,}06\cdot 50=3 \text{ дБ}.$$

Конструкции и применение радиочастотных кабелей

Гибкие радиочастотные кабели промышленного изготовления РК — наиболее часто употребляемые виды линий, применяемых при изготовлении телевизионных антенн. Эти кабели используются в качестве снижений для соединения антенн с телевизионными приемниками, изготовления согласующих трансформаторов, согласующе-симметрирующих устройств, междуэтажных соединений в сложных синфазных антеннах и т. д.

Кабель (рис. 8) состоит из внутреннего проводника (центральной жилы) 1, изоляции 2, разделяющей внутренний и внешний проводники, внешнего проводника (экрана) 3, защитной оболочки 4. Условное обозначение кабеля состоит из букв РК (радиочастоный кабель) и разделенных тире цифр, обозначающих номинальное волновое сопротивление в омах, диаметр по изоляции в миллиметрах и порядковый номер заводской разработки. Например, кабель РК 75-9-12 представляет собой радиочастотный кабель с номинальным волновым сопротивлением 75 Ом, диаметром по изоляции 9 мм и порядковым номером заводской разработки 12.

В зависимости от диаметра по изоляции кабели подразделяются на субминиатюрные с диаметром по изоляции менее 1 мм (например, РК 50-0, 6-21), миниатюрные с диаметром по изоляции 1 ... 2 мм включительно (например, РК 75-1-11, РК 50-2-12), среднегабаритные с диаметром по изоляции 2 ... 9 мм включительно (например, РК 75-3-31, РК 75-9-13) и крупногабаритные с диаметром по изоляции более 9 мм (например, РК 75-17-31). Для изготовления

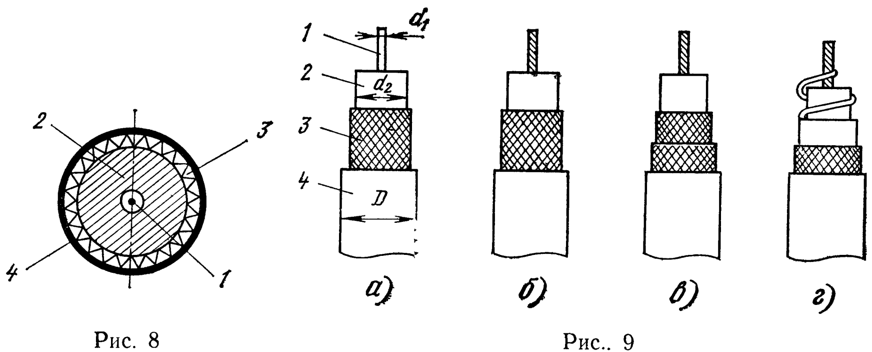


Рис. 8

Рис.. 9

телевизионных антенн используются преимущественно среднегабаритные кабели (РК 75-3-31, РК 75-4-12, РК 75-4-15, РК 75-9-12), а в некоторых случаях — миниатюрные (РК 75-1, 5-12, РК 75-2-12 и т д.).

Промышленностью выпускаются радиочастотные кабели в основном с волновыми сопротивлениями 75 и 50 Ом.

Различные варианты конструкций промышленных радиочастотных кабелей представлены на рис. 9. Наиболее распространенной конструкцией является конструкция, показанная на рис. 9, а, в которой внутренний проводник 1 изготовлен из одиночной медной проволоки, изоляция 2 — сплошная из полиэтилена низкой плотности, внешний проводник 3 представляет собой оплетку из медных проволок диаметром 0,12 ... 0,2 мм, защитная оболочка 4 выполнена из светостабилизированного полиэтилена или полихлорвинилового пластиката. В конструкциях, представленных на рис. 9, б—г, внутренний проводник сплетен из семи медных проволок, что делает кабель более надежным при многократных изгибах. Иногда по условиям работы приемной аппаратуры требуются кабели с повышенной степенью экранирования. Такие кабели (рис. 9, в) имеют внешний проводник из двух наложенных друг на друга оплеток. Некоторые марки кабелей с целью снижения погонного затухания выполняются с использованием полувоздушной изоляции. Конструкция кабеля с такой изоляцией показана на рис. 9, г. На внутренний проводник кабеля надета полиэтиленовая трубка, поверх которой навит кордель — полиэтиленовая нить диаметром 0,5 ... 0,6 мм. На кордель надета вторая полиэтиленовая трубка. Таким образом, изоляция этого кабеля образована двумя полиэтиленовыми трубками, разделенными корделем. Существуют кабели, предназначенные для использования при высоких температурах (до 200° С). В этих кабелях в качестве изоляции между внутренним и внешним проводниками применена пленка из жаропрочного материала — фторопласта, а в качестве защитной оболочки — пленка из фторопласта, поверх которой надета оплетка из стеклонитей, пропитанная лаком. В миниатюрных кабелях с диаметром по изоляции 1 и 1,5, мм тонкий внутренний проводник с целью повышения его прочности изготавливается из стали с гальваническим покрытием — меднением.

Электрические параметры и конструктивные данные радиочастотных кабелей промышленного изготовления приведены в табл. 3, значения погонного затухания — в табл. 4.

В радиолюбительской практике при изготовлении телевизионных антенн иногда возникает задача определения волнового сопротивления и коэффициента укорочения длины волны радиочастотного кабеля неизвестной марки. Если кабель отечественного производства и имеет сплошную однородную изоляцию (не из пленки), то материалом изоляции является полиэтилен с диэлектрической постоянной $\varepsilon=2{,}3$. Измерив с помощью штангенциркуля или микрометра диаметр внутреннего проводника d_1 и диаметр по изоляции d_2 (см. рис. 9, а), волновое сопротивление $z_в$ можно рассчитать по формуле

$$z_в=138\lg(d_2/d_1)/\sqrt{\varepsilon}.$$

Если $d_2/d_1=6{,}7$, то $z_в=75$ Ом, а если $d_2/d_1=3{,}6$, то $z_в=50$ Ом.

Коэффициент укорочения длины волны $n=\sqrt{2{,}3}=1{,}52$.

Во всех других случаях (кабель неизвестного происхождения, полувоздушная или сплошная изоляция с ленточным повивом) волновое сопротивление $z_в$ и коэффициент укорочения длины волны n определяются измерением в следующей последовательности.

1. С помощью прибора для измерения емкостей определить в пикофарадах емкость C_1 между внутренним и внешним проводниками отрезка кабеля (на противоположном конце кабель должен быть разомкнут). Длина отрезка кабеля l не должна превышать 0,05λ, где λ — длина волны, соответствующая частоте, на которой производится измерение емкости. Например, если измерения производятся на частоте 20 МГц, то λ=15 м и длина отрезка кабеля не должна быть больше 0,75 м. Слишком короткие отрезки кабеля (менее 20 ... 30 см) использовать не следует, так как при этом понижается точность измерений.

2. Измерив с помощью штангенциркуля или микрометра диаметр внутреннего проводника d_1 и диаметр по изоляции d_2 (рис. 9, а), вычислить в пикофарадах емкость C_2 воздушного цилиндрического конденсатора, имеющего длину l, равную длине отрезка кабеля, и диаметры обкладок d_1 и d_2. Вычисление емкости C_2, пФ, производится по формуле

$$C_2 = 0{,}24 l / \lg(d_2/d_1),$$

где l — длина отрезка кабеля, см.

3. Эффективная диэлектрическая постоянная $\varepsilon_{эф}$ кабеля

$$\varepsilon_{эф} = C_1/C_2.$$

4. Волновое сопротивление $z_в$ кабеля

$$z_в = 138 \lg(d_2/d_1)/\sqrt{\varepsilon_{эф}}.$$

5. Коэффициент укорочения длины волны

$$n = \varepsilon_{эф}.$$

При монтаже кабельных соединений антенны необходимо соблюдать ряд правил, которые обеспечат надежную и длительную работу антенны.

1. Пайку кабеля следует производить легкоплавкими припоями и по возможности быстро, так как при перегреве оплавляется полиэтиленовая изоляция, что приводит к местному смещению внутреннего проводника и нарушению однородности кабеля.

2. Кабель имеет свойство вытягиваться под действием собственного веса. При вертикальной прокладке его следует крепить через каждые 2 ... 3 м.

3. При разделке кабеля нужно следить за тем, чтобы не надрезать ножом внутренний проводник, а также чтобы проволоки внешнего проводника не коснулись внутреннего проводника.

4. Каждый кабель в зависимости от его диаметра имеет определенный минимальный радиус изгиба, который указывается в справочных данных (см. табл. 3). Сгибать кабель под меньшим радиусом нельзя.

Способ сращивания отрезков коаксиального кабеля, обеспечивающий достаточную однородность волнового сопротивления, показан на рис. 10.

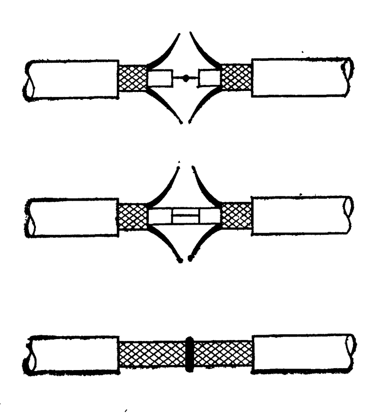


Рис. 10

Конструкции и применение жестких линий

Жесткие линии передач с различной формой поперечного сечения находят широкое применение в качестве делителей мощности, трансформаторов сопротивлений, подстроенных шлейфов, согласующе-симметрирующих устройств и т. д. Основным достоинством этих линий является возможность получения широкого диапазона волновых сопротивлений — от нескольких десятков до нескольких сотен ом.

Поперечные сечения наиболее распространенных конструктивных вариантов жестких линий приведены на рис. 11. Волновые сопротивления этих линий подсчитываются по формулам:

концентрическая (коаксиальная) линия (рис. 11, а)

$$z_в = 138 \lg(D/d);$$

лента в трубе цилиндрического сечения (рис. 11, б)

$$z_в = 138 \lg(2D/h);$$

цилиндрический проводник в трубе квадратного сечения (рис. 11, в)

$$z_в = 138 \lg 1{,}08(A/d) \text{ при } A/d > 2;$$

цилиндрические проводники в трубе цилиндрического сечения (рис. 11, г)

$$z_в = 276 \lg [2A/d \cdot (D^2 - A^2)/(D^2 + A^2)] \text{ при } D/d > 4;$$

параллельные цилиндрические проводники (рис. 11, д)

$$z_в = 276 \lg(2A/d) \text{ при } A/d > 2{,}5;$$

параллельные ленты (рис. 11, е)

$$z_в = 377\, A(A+b) \text{ при } A/b < 3;$$

параллельные ленты в общей плоскости (рис. 11, ж)

$$z_в = 257/\lg[4 + 8b/A] \text{ при } A/b < 1;$$

$$z_в = 276 \lg[4 + (4A/b)] \text{ при } A/b > 1.$$

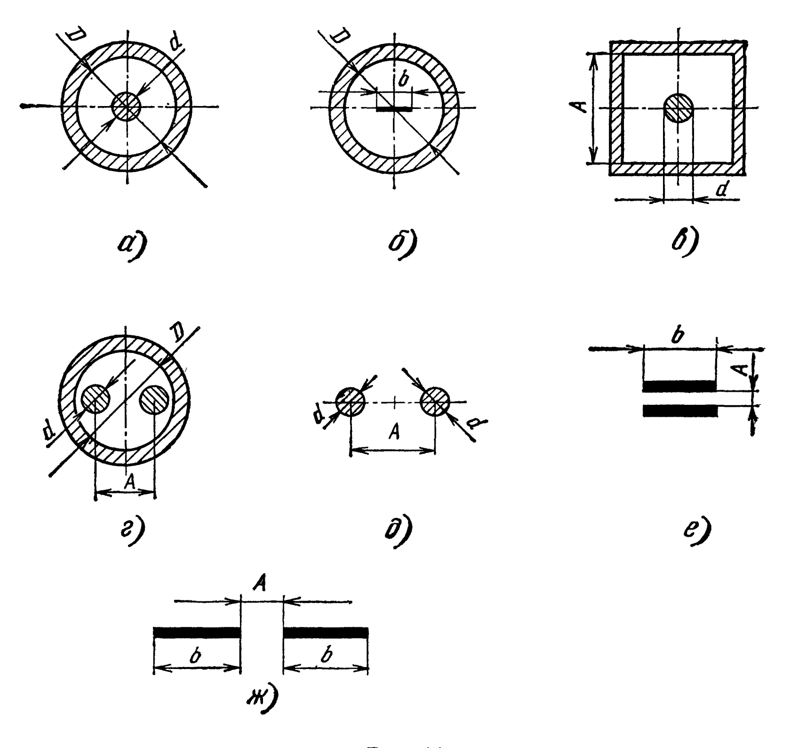


Рис. 11

Пример 1. Определить диаметр d внутреннего проводника концентрической линии (рис. 11, а), если внутренний диаметр D наружной трубы равен 20 мм, а требуемое волновое сопротивление $z_в$ составляет 100 Ом.

1. Исходя из заданного волнового сопротивления определяем отношение D/d

$$z_в=138\lg(D/d);\ \lg(D/d)=z_в/138=100/138=0{,}72;\ D/d=5{,}3.$$

2. Диаметр внутреннего проводника

$$D/d=5{,}3;\ d=D/5{,}3=20/5{,}3=3{,}8\ мм.$$

Пример 2. Определить расстояние между осями цилиндрических проводников двухпроводной воздушной линии (рис. 11, д), если диаметр проводников равен 6 мм, а требуемое волновое сопротивление составляет 300 Ом.

1. Исходя из заданного волнового сопротивления определяем отношение 2A/d

$$z_в=276\lg(2A/d);\ \lg(2A/d)=z_в/276=300/276=1{,}09;\ 2A/d=12{,}3.$$

2. Расстояние между осями проводников

$$2A/d=12{,}3;\ A=12{,}3d/2=12{,}3\cdot 6/2=37\ мм.$$

Расчет согласующих устройств

Для согласования синфазных антенн, состоящих из двух или более числа антенных полотен, с кабелем снижения, а также в ряде других случаев используются согласующие устройства различных конструкций.

Четвертьволновый трансформатор сопротивлений — простейшее согласующее устройство, представляющее собой отрезок линии, длина которой равна четверти длины волны на средней частоте рабочего диапазона (рис. 12, а). Волновое сопротивление линии $z_{в.тр}$, образующей трансформатор, подсчитывается по формуле

$$z_{в.тр}=\sqrt{R_1R_2},$$

где R_1 — сопротивление на выходе трансформатора, подлежащее трансформации; R_2 — требуемое сопротивление со стороны входа трансформатора.

Трансформатор обеспечивает эффективное согласование в полосе частот ±20% от средней частоты.

Пример. Рассчитать четвертьволновый трансформатор для согласования двухэтажной антенны 3-го телевизионного канала с кабелем снижения РК 75-4-15 ($z_в$=75 Ом). Входное сопротивление каждого этажа считать равным 75 Ом.

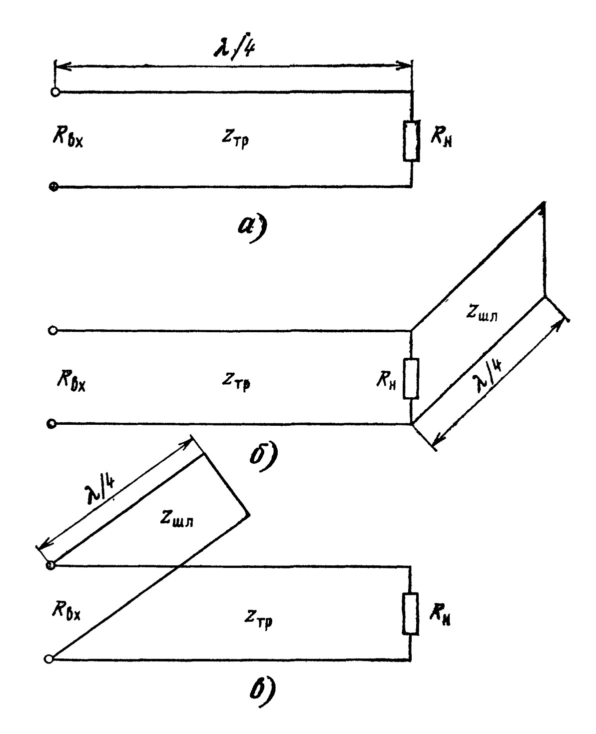


Рис. 12

1. Сопротивление R_1, подлежащее трансформации, представляет собой параллельное соединение двух сопротивлений по 75 Ом каждое. Следовательно, сопротивление на выходе транформатора $R_1=37,5$ Ом.

2. Требуемое сопротивление со стороны входа трансформатора должно быть из условий согласования равным волновому сопротивлению $z_в$ кабеля снижения. Следовательно, сопротивление со стороны входа трансформатора $R_2=z_в=75$ Ом.

3. Волновое сопротивление кабеля, образующего трансформатор,

$$z_{в.тр}=\sqrt{R_1R_2}=\sqrt{37,5\cdot 75}=53 \text{ Ом}.$$

Согласно табл. 3 выбираем кабель РК 50-4-11 или любой другой кабель с $z_в=50$ Ом.

4. Длина волны λ, соответствующая средней частоте 3-го телевизионного канала ($f_{ср}=80$ МГц),

$$\lambda=300/f_{ср}=300/80=3,75 \text{ м}.$$

5. Длина кабеля, образующего трансформатор,

$$l_{тр}=\frac{\lambda}{4n}=3,75/4\cdot 1,52=0,62 \text{ м},$$

где n — коэффициент укорочения длины волны в кабеле, равный 1,52 согласно табл. 3 для кабеля РК 50-4-11.

Если кабеля с требуемым по расчету волновым сопротивлением нет, то можно изготовить трансформатор из нескольких параллельно соединенных отрезков кабеля с одинаковыми или разными волновыми сопротивлениями. При этом нужно иметь в виду, что волновое сопротивление линии, образованной несколькими параллельно соединенными кабелями, рассчитывается через волновые сопротивления этих кабелей точно так же, как суммарное сопротивление нескольких параллельно включенных резисторов. Если $z_{в1}$ и $z_{в2}$ — волновые сопротивления двух кабелей, то волновое сопротивление $z_в$ линии, образующейся при их параллельном включении, определяется по формуле

$$z_в=z_{в1}z_{в2}/(z_{в1}+z_{в2}).$$

Соответственно волновое сопротивление $z_в$ линии, образованной параллельным включением трех кабелей с волновыми сопротивлениями $z_{в1}$, $z_{в2}$ и $z_{в3}$, можно определить из соотношения

$$z_в=z_{в1}z_{в2}z_{в3}/z_{в1}z_{в2}+z_{в1}z_{в2}+z_{в2}z_{в3}.$$

Так, например, линия, образованная двумя параллельными кабелями с одинаковыми волновыми сопротивлениями, равными 75 Ом, имеет $z_в=37,5$ Ом. Линия, образованная тремя кабелями с волновыми сопротивлениями $z_{в1}=50$ Ом, $z_{в2}=50$ Ом и $z=75$ Ом, имеет $z_в=18,7$ Ом.

При параллельном включении кабелей соединение внутренних проводников (центральных жил), а также наружных проводников (экранов) нужно производить только на концах кабелей.

Если подобрать требуемую комбинацию кабелей не удается, то можно выполнить трансформатор в виде воздушной коаксиальной линии (см. рис. 11, а).

Четвертьволновый трансформатор сопротивлений с компенсирующим шлейфом — вариант четвертьволнового трансформатора с расширенной полосой пропускания (рис. 12, б, в). Он состоит из четвертьволновой линии, образующей трансформатор, и четвертьволнового короткозамкнутого шлейфа, подключенного параллельно трансформатору с низкоомной стороны. Если $R_1<R_2$, то шлейф включается параллельно сопротивлению R_1 (рис. 12, б); если $R_1>R_2$, то параллельно сопротивлению R_2 (рис. 12, в).

Волновое сопротивление линии $z_{в.тр}$, образующей трансформатор, подсчитывается по той же формуле, что и для трансформатора без компенсирующего шлейфа. Волновое сопротивление короткозамкнутого компенсирующего шлейфа $z_ш$ находится по формулам

$$z_ш=R_1\sqrt{R_1R_2}/(R_2-R_1) \text{ при } R_2>R_1;$$

$$z_ш=R_2\sqrt{R_1R_2}/(R_1-R_2) \text{ при } R_2<R_1.$$

При отсутствии кабеля с волновым сопротивлением $z_в=z_ш$ можно изготовить шлейф из нескольких параллельно включенных кабелей. Так как значение волнового сопротивления шлейфа не критично, то допустимо изготовить его из любого кабеля с волновым сопротивлением 50 или 75 Ом.

Четвертьволновый трансформатор с компенсирующим шлейфом обеспечивает хорошее согласование в полосе частот до $\pm35\%$ от средней частоты.

Трансформатор сопротивлений на сосредоточенных постоянных — широкополосное согласующее устройство, эффективно работающее на метровых и дециметровых волнах в широкой полосе частот. Трансформатор является аналогом широкополосного согласующего устройства в виде сходящейся линии (линия с переменным волновым сопротивлением) и состоит из последовательно включенных полузвеньев фильтров нижних частот. Рабочая полоса частот трансформатора зависит от отношения согласуемых сопротивлений и числа используемых полузвеньев. Чем ближе отношение согласуемых сопротивлений к единице и больше число полузвеньев, тем шире рабочая полоса частот. Особенностью трансформатора является пульсирующий характер частотной характеристики (рис. 13). В рабочей полосе частот в нескольких точках затухание T, вносимое трансформатором, достигает максимальных значений, равных значениям затухания на краях полосы. При расчете трансформатора задаются наибольшим допустимым значением вносимого затухания $T_{макс}$. Чем больше допустимое затухание, тем шире рабочая полоса при том же отношении согласуемых сопротивлений и числе полузвеньев. На практике наибольшее распространение имеют трансформаторы из одного (рис. 14, а), двух (рис. 14, б) и трех (рис. 14, в) полузвеньев, содержащие соответственно два, четыре и шесть реактивных элементов. Низкоомной стороной трансформатора является сторона с последовательно включенной индуктивностью (клеммы 1—2), высокоомной — с параллельно включенной емкостью (клеммы 3—4). Поэтому, если сопротивление нужно повысить, его включают между клеммами 1—2, если понизить, то между клеммами 3—4.

В табл. 5 приведены значения $T_{макс}$ для различных значений относительной полосы пропускания w и коэффициента трансформации сопротивлений m, рав-

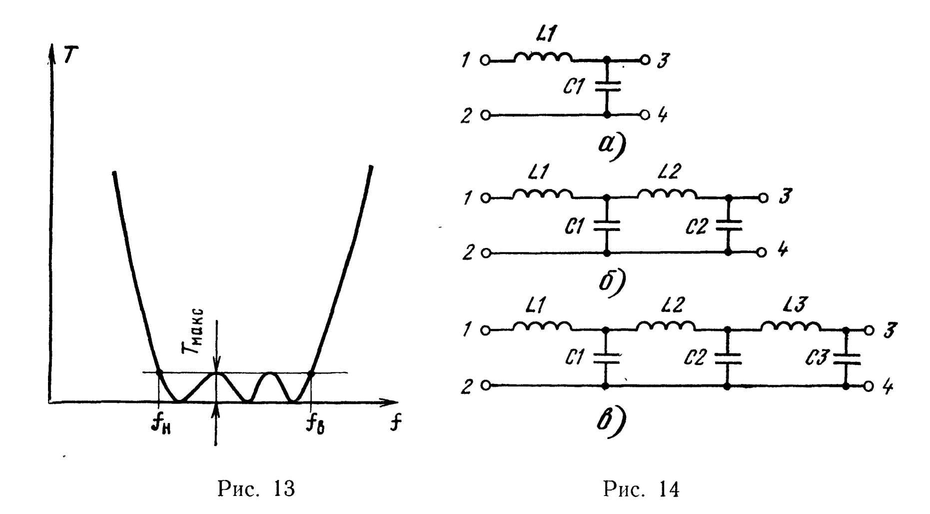


Рис. 13

Рис. 14

ного отношению согласуемых сопротивлений R_1 и R_2 (большего к меньшему) при числе полузвеньев от одного до трех, в табл. 6 и 7 — значения коэффициентов g_1, g_2 и g_3, с помощью которых определяют значения емкостей и индуктивностей полузвеньев.

Исходными данными для расчета трансформатора являются нижняя $f_н$ и верхняя $f_в$ частоты рабочего диапазона, максимально допустимое затухание $T_{макс}$ в рабочем диапазоне, согласуемые сопротивления R_1 и R_2. Задача расчета

Таблица 5. **Значения $T_{макс}$ при различных соотношениях коэффициента трансформации сопротивлений m и относительной полосы пропускания**

Число полузвеньев	Коэффициент трансформации сопротивлений m	$T_{макс}$, дБ, для различных w						
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0
1	1,5	0,002	0,007	0,016	0,027	0,054	0,085	0,114
	2	0,005	0,021	0,046	0,080	0,161	0,251	0,334
	4	0,024	0,095	0,205	0,347	0,683	1,030	1,335
	6	0,045	0,174	0,373	0,622	1,191	1,748	2,218
	8	0,066	0,253	0,538	0,887	1,655	2,376	2,966
2	1,5	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006	0,018	0,040
	2	0,000	0,000	0,001	0,003	0,173	0,053	0,119
	4	0,000	0,001	0,005	0,016	0,077	0,232	0,510
	6	0,000	0,002	0,009	0,029	0,142	0,419	0,901
	8	0,000	0,003	0,013	0,042	0,207	0,603	1,268
3	1,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,010
	2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,009	0,033
	4	0,000	0,000	0,000	0,001	0,007	0,040	0,146
	6	0,000	0,000	0,000	0,001	0,013	0,073	0,266
	8	0,000	0,000	0,000	0,002	0,019	0,107	0,385

Таблица 6. **Значения коэффициентов g_1, g_2 и g_3 при различных значениях коэффициента трансформации сопротивлений m и относительной полосы пропускания w (для w от 0,1 до 0,4)**

Число полузвеньев	Коэффициент трансформации сопротивлений m	Относительная полоса пропускания										
		0,1		0,2			0,3			0,4		
		g_1	g_2	g_1	g_2	g_3	g_1	g_2	g_3	g_1	g_1	g_3
1	1,5	0,706	—	0,704	—	—	0,699	—	—	0,693	—	—
	2	0,999	—	0 995	—	—	0,989	—	—	9,981	—	—
	4	1,730	—	1,723	—	—	1,713	—	—	1,598	—	—
	6	2,233	—	2,225	—	—	2,211	—	—	2,193	—	—
	8	2,642	—	2,633	—	—	2,616	—	—	2,594	—	—
2	1,5	0,655	0,879	0,658	0,877	—	0,660	0,874	—	0,664	0,869	—
	2	0,818	0,864	0,821	0,861	—	0,825	0,856	—	0,832	0,849	—
	4	1,155	0,750	1,162	0,745	—	1,174	0,737	—	1,191	0,727	—
	6	1,349	0,677	1,360	0,671	—	1,378	0,662	—	1,404	0,650	—
	8	1,490	0,628	1,504	0,622	—	1,528	0,612	—	1,563	0,598	—
3	1,5	—	—	0,553	0,914	1,392	0,557	0,912	1,390	0,562	0,909	1,384
	2	—	—	0,654	0,919	1,654	0,660	0,916	1,653	0,668	0,911	1,645
	4	—	—	0,836	0,865	2,360	0,856	0,859	2,354	0,871	0,849	2,342
	6	—	—	0,947	0,822	2,868	0,961	0,814	2,858	0,980	0,803	2,843
	8	—	—	1,018	0,791	3,286	1,034	0,782	3,274	1,057	0,769	3,257

Таблица 7. **Значения коэффициентов g_1, g_2 и g_3 при различных значениях коэффициента трансформации сопротивлений m и относительной полосы пропускания w (для w от 0,6 до 1)**

Число полузвеньев n	Коэффициент трансформации сопротивлений m	Относительная полоса пропускания								
		0,6			0,8			1,0		
		g_1	g_2	g_3	g_1	g_2	g_3	g_1	g_2	g_3
1	1,5	0,677	—	—	0,657	—	—	0,632	—	—
	2	0,958	—	—	0,928	—	—	0,894	—	—
	4	1,659	—	—	1,608	—	—	1,549	—	—
	6	2,142	—	—	2,076	—	—	2,000	—	—
	8	2,534	—	—	2,457	—	—	2,366	—	—
2	1,5	0,673	0,855	—	0,683	0,835	—	0,692	0,809	—
	2	0,849	0,829	—	0.870	0,802	—	0,891	0,770	—
	4	1,237	0,697	—	1,297	0,659	—	1,362	0,616	—
	6	1,476	0,616	—	1,571	0,574	—	1,677	0,528	—
	8	1,659	0,561	—	1,787	0,517	—	1,929	0.470	—
3	1,5	0,575	0,900	1,366	0,593	0,886	1,343	0,617	0,865	1,315
	2	0,688	0,896	1,622	0,718	0,873	1,592	0.758	0,841	1,557
	4	0,912	0,822	2,308	0,975	0,782	2,266	1,064	0,728	2,220
	6	1,037	0,769	2,803	1,127	0,719	2,755	1,253	0,655	2,704
	8	1.127	0,730	3,212	1,238	0,675	3,159	1,398	0,604	3,105

состоит в синтезе согласующей цепи, т. е. в определении требуемого числа полузвеньев n и значений емкостей и индуктивностей.

Расчет производится в следующем порядке.

1. Относительная полоса пропускания

$$w=2(f_в-f_н)/(f_в+f_н).$$

2. Коэффициент трансформации сопротивлений $m=R_1/R_2$ при $R_1>R_2$ или $m=R_2/R_1$ при $R_2>R_1$.

3. Исходя из рассчитанных значений w и m определяем по табл. 5 требуемое число полузвеньев n, при котором максимальное затухание $T_{макс}$ не превышает заданного.

4. Определяем значения индуктивностей и емкостей:

а) при n=1 (трансформатор в виде одного полузвена, рис. 14, а) значение g_1 находим из табл. 6 или 7 для тех w и m, что были определены в п. 3 настоящего примера, а значение g_2 определяем по формуле

$$g_2=g_1/m.$$

Значения индуктивности, Гн, и емкости, Ф,

$$L1=g_1R/2\pi f_{ср},$$

где $R=R_1$ при $R_1>R_2$ или $R=R_2$ при $R_2>R_1$, $f_{ср}$ — средняя частота рабочего диапазона, Гц, равная $(f_н+f_в)/2$;

$$C1=g_2/2\pi f_{ср}R.$$

В этих формулах R подставляется в омах;

б) при n=2 (трансформатор из двух полузвеньев рис. 14, б) значения g_1 и g_2 находим из табл. 6 или 7, а значения g_3 и g_4 по формулам

$$g_3=g_2m,\ g_4=g_1m.$$

Значения индуктивностей, Гн, и емкостей, Ф,

$$L1=g_1R/2\pi f_{ср},\ C1=g_2/2\pi f_{ср}R,\ L2=g_3R/2\pi f_{ср},\ C2=g_4/2\pi f_{ср}R,$$

где R и $f_{ср}$ — те же, что и в п. а);

в) при n=3 (трансформатор из трех полузвеньев, рис. 14, в) значения g_1, g_2 и g_3 находим из табл. 6 или 7, $g_1=g_3/m$, $g_5=g_2m$, $g_6=g_1m$.

Значения индуктивностей, Гн, и емкостей, Ф,

$$L1=g_1R/2\pi f_{ср},\ C1=g_2/2\pi f_{ср}R,\ L2=g_3R/2\pi f_{ср},\ C2=g_4/2\pi f_{ср}R,$$

$$L3=g_5R/2\pi f_{ср},\ C3=g_6/2\pi f_{ср}R,$$

где R и $f_{ср}$ — те же, что и в п. а).

Пример. Рассчитать трансформатор сопротивлений на сосредоточенных постоянных для согласования двухэтажной двухрядной антенны на каналы 6—12 ($f_н$=174 МГц, $f_в$=230 МГц, $f_{ср}$=200 МГц) с кабелем снижения РК 75-4-16 ($z_в$=75 Ом). При этом считаем, что входное сопротивление каждого из четырех полотен равно 75 Ом, а наихудший КСВ в рабочей полосе частот не должен превышать 1,43 (КБВ не менее 0,7). При этом коэффициент отражения

$P=(КСВ-1)/(КСВ+1)=0,18$, что соответствует максимальному затуханию вследствие рассогласования $T_{макс}=0,15$ дБ.

Сопротивление на выходе трансформатора, подлежащее согласованию, представляет собой параллельное соединение четырех сопротивлений по 75 Ом каждое, т. е. $R_2=75/4=18,5$ Ом. Сопротивление на входе трансформатора должно быть равным волновому сопротивлению кабеля снижения, т. е. $R_1=z_в=75$ Ом.

1. Относительная полоса пропускания

$$w=2(f_в-f_н)/(f_в+f_н)=2(230-174)/(230+174)=0,28.$$

В табл. 5 значения $w=0,28$ нет. Поэтому принимаем для дальнейшего расчета ближайшее большее значение $w=0,3$, что дает некоторый запас по полосе пропускания.

2. Коэффициент трансформации сопротивлений

$$m=75/18,5=4.$$

3. Согласно табл. 5 для трансформатора из одного полузвена ($n=1$) значение $T_{макс}$ при $w=0,3$ и $m=4$ составляет 0,205 дБ (на пересечении столбца $w=0,3$ и строки $m=4$), что превышает требуемое значение 0,15 дБ на 0,05 дБ. Поэтому реализовать заданные требования при одном полузвене нельзя. Для трансформатора, состоящего из двух полузвеньев ($n=2$), значение $T_{макс}$ по той же таблице при $w=0,3$ и $m=4$ составляет 0,005 дБ, что меньше требуемого значения 0,15 дБ. Поэтому параметры трансформатора из двух полузвеньев соответствуют исходным данным, что определяет выбор схемы (рис. 14, б).

4. По табл. 6 находим коэффициенты g_1 и g_2 для $n=2$ при $w=0,3$ и $m=4$

$$g_1=1,174,\quad g_2=0,737.$$

Коэффициенты g_3 и g_4 определяем расчетным путем

$$g_3=g_2m=0,737\cdot 4=2,948,$$

$$g_4=g_1/m=1,174/4=0,294.$$

5. Значения индуктивностей и емкостей (рис. 14, б)

$$L1=g_1R_1/2\pi f_{ср}=1,174\cdot 75/2\cdot 3,14\cdot 200\cdot 10^6=0,07\cdot 10^{-6}\ Гн=0,07\ мкГн,$$

$$L_2=g_3R_1/2\pi f_{ср}=2,948\cdot 75/2\cdot 3,14\cdot 200\cdot 10^6=0,175\cdot 10^{-6}\ Гн=0,175\ мкГн,$$

$$C1=g_2/2\pi f_{ср}R_1=0,737/2\cdot 3,14\cdot 200\cdot 10^6\cdot 75=8\cdot 10^{-12}\ Ф=8\ пФ,$$

$$C2=g_4/2\pi f_{ср}R_1=0,294/2\cdot 3,14\cdot 200\cdot 10^6\cdot 75=3\cdot 10^{-12}\ Ф=3\ пФ.$$

На этом расчет схемы заканчивается.

ГЛАВА 4.

ПАРАМЕТРЫ АНТЕННЫ

К основным параметрам антенны, представляющим наибольший практический интерес, относятся *диаграмма направленности, коэффициент усиления, действующая длина и входное сопротивление*.

Необходимо сделать следующее важное замечание, касающееся параметров антенн. Приемная телевизионная антенна является широкополосным устройством, которое должно обеспечить неискаженный прием всего спектра частот телевизионного канала. Одноканальные антенны работают в полосе частот 8 МГц. Диапазонные антенны, предназначенные для приема нескольких каналов, работают еще в более широкой полосе частот. Полное представление о свойствах антенны можно получить только в том случае, если известны ее параметры во всей рабочей полосе частот, т. е. частотные характеристики. Например, частотная характеристика коэффициента усиления позволяет судить о том, как меняется ЭДС на клеммах антенны в полосе частот телевизионного канала, частотная характеристика входного сопротивления определяет изменение отдачи мощности из антенны в фидерную линию и т. д. Поэтому измерение параметров антенн производится, как правило, на нескольких частотах — не менее чем на трех частотах при испытаниях одноканальных антенн (на средней и крайних частотах рабочего канала) и не менее чем на пяти-шести частотах равномерно распределенных в рабочей полосе частот при испытаниях многоканальных и диапазонных антенн.

Диаграмма направленности. Значение ЭДС, наведенной в антенне электромагнитным полем, зависит от направления прихода радиоволны, что позволяет ослабить помехи, которые приходят с направлений, отличных от направления прихода полезного сигнала. Направленными свойствами обладают в той или иной мере все антенны, включая самые простые. Всенаправленных телевизионных антенн, т. е. таких антенн, которые одинаково принимают со всех направлений в пределах полного телесного угла в 360°, не существует.

В наименьшей степени направленные свойства выражены у простейшей антенны — симметричного вибратора, состоящего из двух коротких прямолинейных проводников одинаковой длины, разделенных зазором. Предположим, что симметричный вибратор расположен горизонтально, т. е. так, как это необходимо для приема горизонтально поляризованных волн. Проведем мысленно две плоскости — вертикальную, проходящую через середину вибратора перпендикулярно его оси, и горизонтальную, проходящую через ось вибратора. В вертикальной плоскости вибратор направленностью не обладает — с какого бы направления, лежащего в этой плоскости, ни пришел сигнал, ЭДС на клеммах вибратора будет оставаться одной и той же. В горизонтальной плоскости вибратор обладает направленными свойствами, однако они выражены относительно слабо. На клеммах вибратора ЭДС становится близкой к нулю только в пределах небольшого угла, прилегающего к оси антенны. В связи со слабой направленностью симметричный вибратор не обеспечивает значительного ослабления отраженных сигналов.

Более направленными являются антенны типа «волновой канал». Они принимают сигналы в пределах относительно небольшого угла и позволяют эффективно ослаблять отраженные сигналы, приходящие с направлений, отличных от направления прихода основного сигнала.

Для оценки направленных свойств приемных антенн производится измерение *характеристик направленности*, представляющих собой зависимость ЭДС на клеммах антенны от угла прихода сигнала. Графическое изображение характеристики направленности называется *диаграммой направленности*, которая дает наглядное представление о направленных свойствах антенны. При построении диаграммы направленности максимальное значение ЭДС условно принимается равным единице. Такие диаграммы направленности, называемые *нормированными*, удобны для сравнения различных антенн по их направленным свойствам. Методика нормирования и построения диаграмм направленности по результатам измерений изложена в гл. 8.

На практике нет необходимости строить пространственные диаграммы направленности, которые характеризовали бы направленные свойства антенны во всем телесном угле в 360°. Достаточно полное представление о направленных свойствах антенны дают диаграммы, показывающие, как зависит ЭДС на клеммах антенны от направления прихода сигнала в двух плоскостях — горизонтальной 1 и вертикальной 2, проведенных так, как показано на рис. 15. Такие диаграммы называют *диаграммами направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях.*

Построение диаграмм направленности производится либо в *полярных,* либо в *прямоугольных (декартовых) координатах.* В полярных координатах диаграмма направленности более наглядна, в прямоугольных — более удобна для различного рода расчетов. Рассмотрим для примера построенную в полярных координатах диаграмму направленности антенны типа «волновой канал» в горизонтальной плоскости (рис. 16). Координатная сетка состоит из двух систем линий. Одна система линий представляет собой концентрические окружности с центром в начале координат. Окружности наибольшего радиуса соответствует максимальная ЭДС, значение которой условно принято равным единице, а остальным окружностям — промежуточные значения ЭДС от единицы до нуля. Другая система линий, образующих координатную сетку, представляет собой

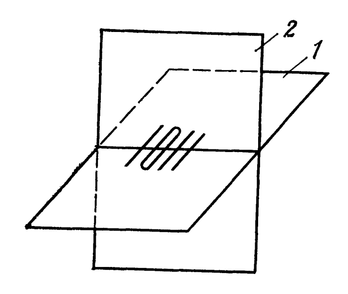


Рис. 15

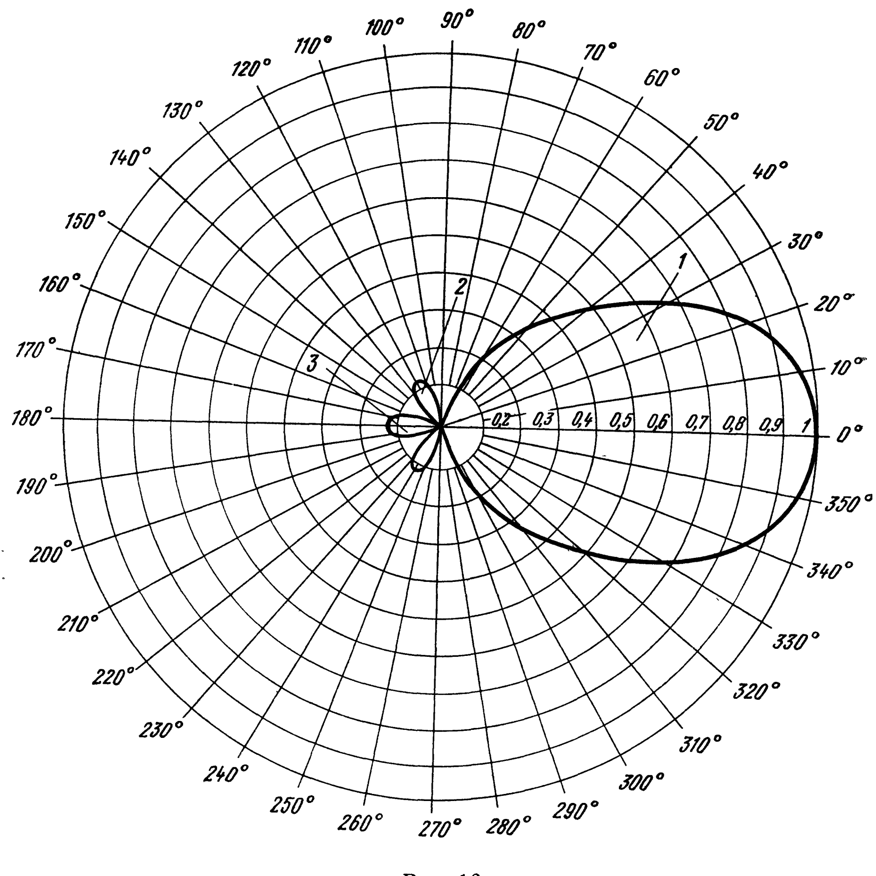


Рис. 16

пучок прямых, которые делят центральный угол в 360° на равные части. В нашем примере этот угол разделен на 36 частей по 10° в каждой. При построении более направленных диаграмм, требующих повышенной точности построения, центральный угол можно разделить, например, на 72 или 144 части по 5 или 2,5° в каждой.

Положим, что радиоволна приходит с направления, показанного на рис. 16 стрелкой (угол 10°). Из диаграммы направленности видно, что этому направлению прихода радиоволны соответствует максимальная ЭДС на клеммах антенны. При приеме радиоволн, приходящих с любого другого направления, ЭДС на клеммах антенны будет меньше. Например, если радиоволны приходят под углами 30 и 330° (т. е. под углом 30° к оси антенны со стороны директоров), то значение ЭДС будет равно 0,7 максимальной, под углами 40 и 320° — 0,5 максимальной и т. д.

На диаграмме направленности (рис. 16) видны три характерные области — 1, 2 и 3. Область 1, которой соответствует наибольший уровень принятого сигнала, называют *основным*, или *главным, лепестком диаграммы направленности*, а направление, соответствующее максимальному уровню сигнала,— *максимумом главного лепестка диаграммы направленности*. Области 2 и 3, находящиеся со стороны рефлектора антенны, носят название *задних и боковых лепестков диаграммы направленности*. Наличие задних и боковых лепестков свидетельствует о том, что антенна принимает радиоволны не только спереди (со стороны директоров), но и сзади (со стороны рефлектора), что снижает помехоустойчивость приема. В связи с этим при настройке антенны стремятся уменьшить число и уровень задних и боковых лепестков.

Описанную диаграмму направленности, характеризующую зависимость ЭДС на клеммах антенны от направления прихода радиоволны, часто называют диаграммой направленности *по «полю»*, так как ЭДС пропорциональна напряженности электромагнитного поля в точке приема. Возведя в квадрат ЭДС, соответствующую каждому направлению прихода радиоволны, можно получить диаграмму направленности по мощности (пунктирная линия на рис. 17).

Для численной оценки направленных свойств антенны пользуются понятиями *угла раствора* φ *основного лепестка диаграммы направленности и уровня задних и боковых лепестков* γ. Углом раствора основного лепестка диаграммы направленности называют *угол, в пределах которого ЭДС на клеммах антенны спадает до уровня 0,7 от максимальной*. Угол раствора можно также определить пользуясь диаграммой направленности по мощности, по ее спаду до уровня 0,5 максимальной (угол раствора по «половинной» мощности). В обоих случаях численное значение угла раствора получается, естественно, одним и тем же. Иногда под углом раствора подразумевают другой угол, а именно тот, в пределах которого основной лепесток диаграммы направленности спадает до нуля (угол раствора по «нулям» основного лепестка). Если уровень, по которому определен угол раствора, не указан, то следует понимать угол по уровню 0,7 ЭДС (или 0,5 мощности). В нашем примере (см. рис. 16) угол раствора по уровню 0,7 ЭДС составляет 60° (по 30° в каждую сторону от оси антенны), а по «нулям» — 140°. Чем меньше угол раствора, тем лучше направленные свойства антенны. Для антенны типа «волновой канал» угол раствора уменьшается с увеличением числа директоров.

Уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности по напряжению γ_U определяется как отношение ЭДС на клеммах антенны при приеме со стороны максимума заднего или бокового лепестка к ЭДС со стороны максимума основного лепестка. Когда антенна имеет несколько задних и боковых лепестков различной величины, то указывается обычно уровень наибольшего лепестка. Уровень задних и боковых лепестков можно определить также по мощности (γ_P), возведя в квадрат уровень задних и боковых лепестков по напряжению. На диаграмме направленности, показанной на рис. 16, задние и боковые лепестки имеют одинаковый уровень, равный 0,13 (13%) по ЭДС или 0,017 (1,7%) по мощности. Задние и боковые лепестки направленных приемных телевизионных антенн находятся обычно в пределах 0,1 ... ,25 (по напряжению).

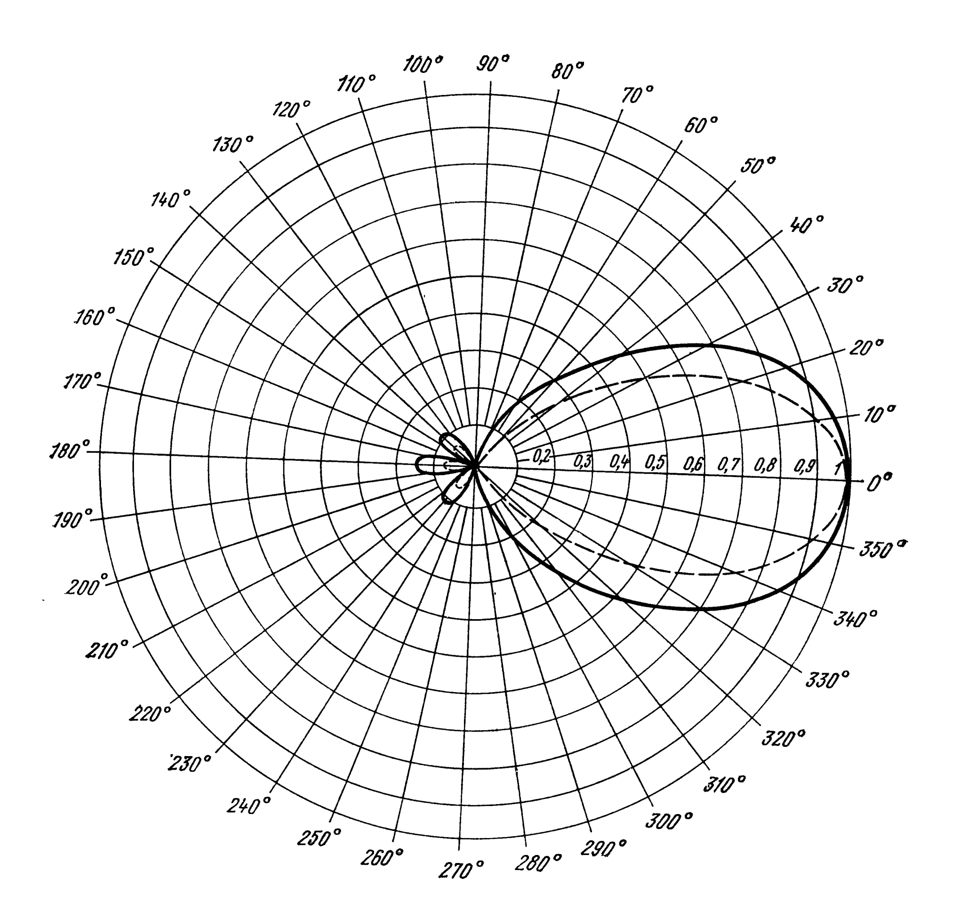


Рис. 17

В литературе при описании направленных свойств приемных телевизионных антенн часто указывают уровень задних и боковых лепестков, равный среднему арифметическому из уровней лепестков на средней и крайних частотах телевизионного канала. Допустим, что уровень лепестков (по ЭДС) диаграммы направленности антенны 3-го канала (f=76...84 МГц) составляет: на частотах 75 МГц — 0,18; 80 МГц — 0,1; 84 МГц — 0,23. Средний уровень лепестков будет равен (0,18+0,1+0,23)/3, т. е. 0,17. Помехозащищенность антенны может быть охарактеризована средним уровнем лепестков только в том случае, если в полосе частот телевизионного канала нет резких «выбросов» уровня лепестков, значительно превышающих средний уровень.

Необходимо сделать важное замечание, касающееся помехозащищенности антенны с вертикальной поляризацией. Обратимся к диаграмме направленности, изображенной на рис. 16. На этой диаграмме, характерной для антенн горизонтальной поляризации в горизонтальной плоскости, основной лепесток отделен

от задних и боковых лепестков направлениями нулевого приема. Антенны вертикальной поляризации (например, антенны «волновой канал» с вертикальным расположением вибраторов) направлений нулевого приема в горизонтальной плоскости не имеют. Поэтому задние и боковые лепестки в этом случае однозначно не определены и помехозащищенность определяется на практике, как отношение уровня сигнала, принятого с переднего направления, к уровню сигнала, принятого с заднего направления.

Коэффициент усиления. Чем направленнее антенна, т. е. чем меньше угол раствора основного лепестка и меньше уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности, тем больше ЭДС на клеммах антенны.

Представим себе, что в некоторую точку электромагнитного поля помещен симметричный полуволновый вибратор, ориентированный на максимум приема, т. е. расположенный так, что его продольная ось перпендикулярна направлению прихода радиоволны. На подключенной к вибратору согласованной нагрузке развивается определенное напряжение U_1, зависящее от напряженности поля в точке приема. Поместим далее в ту же точку поля вместо полуволнового вибратора ориентированную на максимум приема антенну с большей направленностью, например антенну типа «волновой канал», диаграмма направленности которой изображена на рис. 16. Будем считать, что эта антенна имеет ту же нагрузку, что и полуволновый вибратор, и так же с ней согласована. Так как антенна «волновой канал» является более направленной, чем полуволновый вибратор, то и напряжение на ее нагрузке U_2 будет больше. Отношение напряжений U_2/U_1 и представляет собой коэффициент усиления K_U четырехэлементной антенны по напряжению или, как его иначе называют, по «полю».

Таким образом, коэффициент усиления антенны по напряжению или по «полю» можно определить как *отношение напряжения, развиваемого антенной на согласованной нагрузке, к напряжению, развиваемому на той же нагрузке согласованным с ней полуволновым вибратором.* Обе антенны считаются расположенными в той же точке электромагнитного поля и ориентированными на максимум приема. Часто применяется также понятие коэффициента усиления по мощности K_P, который равен квадрату коэффициента усиления по напряжению ($K_P = K_U^2$).

В определении коэффициента усиления необходимо подчеркнуть два момента. Во-первых, для того чтобы антенны различных конструкций можно было сопоставить друг с другом, каждую из них сравнивают с одной и той же антенной — полуволновым вибратором, который считается эталонной антенной. Во-вторых, для получения на практике выигрыша в напряжении или мощности, определяемых коэффициентом усиления, нужно сориентировать антенну на максимум принимаемого сигнала, т. е. так, чтобы максимум главного лепестка диаграммы направленности был ориентирован в сторону прихода радиоволны. Коэффициент усиления зависит от типа и конструкции антенны. Обратимся для пояснения к антенне типа «волновой канал». Коэффициент усиления этой антенны возрастает с увеличением числа директоров. Четырехэлементная антенна (рефлектор, активный вибратор и два директора) имеет коэффициент усиления по напряжению, равный 2; семиэлементная (рефлектор, активный вибратор и пять директоров) — 2,7. Это означает, что если вместо полуволнового

вибратора использовать четырехэлементную антенну, то напряжение на входе телевизионного приемника возрастет в 2 раза (мощность в 4 раза), а семиэлементную — в 2,7 раза (мощность в 7,3 раза).

Значение коэффициента усиления антенны указывают в литературе либо по отношению к полуволновому вибратору, либо по отношению к так называемому изотропному излучателю. Изотропный излучатель представляет собой такую воображаемую антенну, у которой полностью отсутствуют направленные свойства, и пространственная диаграмма направленности имеет соответственно вид сферы. В природе изотропных излучателей не существует, и такой излучатель является просто удобным эталоном, с которым можно сравнивать направленные свойства различных антенн. Расчетное значение коэффициента усиления полуволнового вибратора по напряжению относительно изотропного излучателя составляет 1,28 (2.15 дБ). Поэтому если известен коэффициент усиления какой-либо антенны по напряжению относительно изотропного излучателя, то, разделив его на 1,28, получим коэффициент усиления этой антенны относительно полуволнового вибратора. Когда коэффициент усиления относительно изотропного излучателя указан в децибелах, то для определения коэффициента усиления относительно полуволнового вибратора нужно вычесть 2,15 дБ. Например, коэффициент усиления антенны по напряжению относительно изотропного излучателя равен 2,5 (8 дБ). Тогда коэффициент усиления этой же антенны относительно полуволнового вибратора составит 2,5/1,28, т. е. 1,95, а в децибелах 8—2,15=5,85 дБ.

Естественно, что реальный выигрыш по уровню сигнала на входе телевизора, даваемый той или иной антенной, не зависит от того, по отношению к какой эталонной антенне — полуволновому вибратору или изотропному излучателю — указан коэффициент усиления. В настоящей книге значения коэффициента усиления указаны по отношению к полуволновому вибратору.

В литературе направленные свойства антенн часто оценивают коэффициентом направленного действия КНД, который представляет собой выигрыш в мощности сигнала в нагрузке при условии, что антенна не имеет потерь. Коэффициент направленного действия связан с коэффициентом усиления по мощности K_P соотношением

$$K_P = \text{КНД}\,\eta,$$

где η — коэффициент полезного действия антенны (КПД).

Поскольку любая антенна имеет потери (в проводниках и изоляторах), то ее КПД всегда меньше единицы. На метровых и дециметровых волнах КПД близок к единице и реальный выигрыш в уровне сигнала, даваемый антенной, практически равен теоретическому выигрышу, определяемому формой диаграммы направленности.

Методы экспериментального определения коэффициента усиления антенны, описанные в гл. 8, весьма трудоемки. В то же время коэффициент усиления нетрудно подсчитать, если измерить углы раствора главного лепестка диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Заметим, что измерение угла раствора в вертикальной плоскости можно заменить измерением угла раствора в горизонтальной плоскости, если при измерениях предварительно

повернуть испытуемую и облучающую антенны вокруг продольной оси на 90°, т. е. изменив вид поляризации.

Коэффициент усиления по мощности относительно полуволнового вибратора подсчитывается по формуле

$$K_P = 25154/\varphi\psi,$$

где φ и ψ — углы раствора диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях, град, по уровню 0,7 напряжения.

Коэффициент усиления, дБ,

$$K = 10 \lg K_P.$$

Действующая длина $h_д$. Параметр, позволяющий определить ЭДС e на зажимах простейших антенн — полуволновых вибраторов и рамок:

$$e = Eh_д,$$

где E — напряженность поля.

Действующая длина линейного полуволнового вибратора равна λ/π (λ — длина волны, $\pi = 3{,}14$), петлевого полуволнового вибратора — $2\lambda/\pi$.

Понятие действующей длины имеет простой физический смысл. Обратимся к рис. 18, где показан полуволновый вибратор. Ток вдоль вибратора распределен по синусоиде (рис. 18, а) с максимумом в центре вибратора и нулями по краям. Заштрихованная площадь может быть условно названа «площадью тока» S_1. Представим себе другой вибратор (рис. 18, б), отличающийся от полуволнового тем, что ток вдоль его длины распределен равномерно с той же амплитудой, что и в центре полуволнового вибратора. Для того чтобы «площадь тока» S_2 второго, воображаемого, вибратора была равна «площади тока» полуволнового вибратора, нужно, чтобы длина второго вибратора была равна λ/π. Эта длина и называется действующей длиной полуволнового вибратора. Таким образом, *действующая длина полуволнового вибратора равна длине такого воображаемого вибратора с равномерным распределением тока, который имеет «площадь тока», равновеликую «площади тока» полуволнового вибратора.* Действующая длина полуволнового вибратора в пределах полосы частот одного телевизионного канала от частоты зависит мало и в расчетах можно считать ее постоянной.

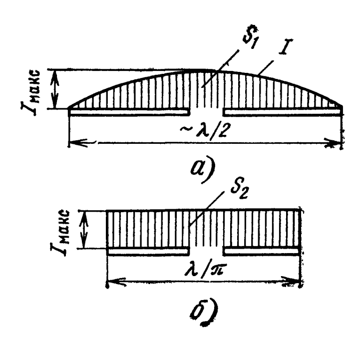


Рис. 18

Входное сопротивление. Отдача мощности из антенны в нагрузку определяется соотношением между входным сопротивлением антенны, которое может рассматриваться как ее внутреннее сопротивление, и сопротивлением нагрузки. При неизменных размерах антенны входное сопротивление зависит от частоты, а при неизменной частоте — от размеров.

В общем случае входное сопротивление является комплексным, т. е. состоит из активной и реактивной составляющих. Чисто активным сопротивление становится только при определенных соотношениях между размерами антенны и частотой (точки резонанса).

Рассмотрим для примера, как меняется входное сопротивление симметричного линейного вибратора при изменении его длины. Очень короткий вибратор, длина которого значительно меньше длины волны, имеет входное сопротивление, состоящее из активной составляющей и реактивной составляющей емкостного характера. Значение активной составляющей очень мало и измеряется долями или единицами ом, реактивной составляющей — очень велико (единицы или десятки килоом). По мере увеличения длины вибратора активная составляющая возрастает, реактивная снижается. При длине, равной $\lambda/4$, активная составляющая имеет значение около 15 ... 20 Ом, реактивная — около 400 ... 500 Ом. Когда длина вибратора близка к $\lambda/2$, активная составляющая становится равной 73 Ом, а емкостная обращается в нуль. Наступает первый (полуволновый) резонанс. При длине вибратора между $\lambda/2$ и λ входное сопротивление снова становится комплексным (индуктивного характера), а при длине, равной λ, наступает второй (волновой) резонанс. В дальнейшем резонансы повторяются через каждые $\lambda/2$, причем входное сопротивление в районе нечетных резонансов ($\lambda/2$, $3\lambda/2$ и т. д.) относительно невелико (около сотен ом), а в районе черных резонансов (λ, 2λ и т. д.) достигает нескольких килоом.

Наиболее удобным с точки зрения согласования с кабелем является вибратор, работающий в режиме первого резонанса, т. е. полуволновый вибратор. Поэтому он используется как в качестве самостоятельной антенны, так и в качестве активного вибратора многоэлементных антенн типа «волновой канал». В качестве активного вибратора многоэлементных антенн используется также петлевой полуволновый вибратор, входное сопротивление которого превышает входное сопротивление линейного полуволнового вибратора в 4 раза и составляет 292 Ом.

Входное сопротивление симметричных полуволновых вибраторов, линейных и петлевых, работающих в составе многоэлементных антенн в качестве активных вибраторов, может в значительной степени отличаться от входного сопротивления тех же вибраторов в свободном пространстве. Поэтому при настройке многоэлементных антенн необходимо обратить внимание на получение входного сопротивления в рабочей полосе частот близкого к волновому сопротивлению кабеля ($z_в=75$ Ом), что необходимо для обеспечения достаточно низкого КСВ в кабеле (не более 2 ... 2,5).

Децибельная система оценки параметров антенн. В технике приемных телевизионных антенн, как и в ряде других областей радиосвязи и радиовещания, широко применяется очень удобная децибельная система сравнения уровней сигналов.

Основное определение децибела (дБ) состоит в следующем. Допустим, что нам нужно сравнить между собой мощности P_1 и P_2, развивающиеся на некоторых сопротивлениях R_1 и R_2. Отношение мощностей P_1 и P_2 «в разах» есть P_1/P_2. Это отношение мощностей «в разах» можно представить как разность уровней сигналов N, дБ.

$$N=10\lg(P_1/P_2).$$

Если мощность P_1 больше мощности $P_2 (P_1>P_2)$, то отношение P_1/P_2 больше единицы и разность уровней сигналов в децибелах получается положительной (+дБ), что соответствует усилению сигнала. При $P_1<P_2$ отношение P_1/P_2 меньше единицы и разность уровней сигналов в децибелах получается отрицательной (—дБ), что соответствует ослаблению сигнала.

Допустим, что мощности P_1 и P_2 развиваются на одинаковых по значению сопротивлениях ($R_1=R_2$). В этом случае разность уровней сигналов N, дБ, может быть определена не только по основной формуле децибел через отношение мощностей, но и через отношение напряжений U_1 и U_2 на этих сопротивлениях:

$$N=20\lg(U_1U_2).$$

Число децибел, подсчитанное через отношение мощностей или напряжений по приведенным выше формулам, получается, естественно, одно и то же.

При подсчете усиления или ослабления сложных цепей, состоящих, например, из ряда последовательно соединенных усилителей или ослабителей, децибелы складываются или вычитаются. Представим себе цепь из двух усилителей и одного ослабителя, соединенных последовательно. Пусть усиление каждого усилителя по мощности ($P_{вых}/P_{вх}$) равно 200, а ослабление по мощности, вносимое ослабителем, равно 4. Общее усиление по мощности «в разах» составляет $(200\cdot 200)/4=10000$. Усиление составит $10\lg 200+10\lg 200-10\lg 4=23+$ $+23-6=40$ дБ.

Когда имеют дело с отношениями мощностей или напряжений, то применяются, например, выражения «мощность увеличилась в 4 раза», «напряжение уменьшилось в 10 раз» и т. д. В переводе на «язык» децибел эти же выражения соответственно означают: «уровень сигнала увеличился на 6 дБ», уровень сигнала уменьшился на 20 дБ. Увеличению уровня сигнала на 1 дБ соответствует увеличение напряжения в 1,12 раза, мощности — в 1,26 раза, на 2 дБ — соответственно в 1,26 и 1,58 раза, на 3 дБ — в 1,41 и 2 раза и т. д.

Пользуясь децибелами, нужно твердо помнить о следующем: *разность уровней сигналов в децибелах можно определять через отношение мощностей по основной формуле децибел независимо от того, равны или не равны сопротивления нагрузок R. Вычисление же децибел через отношение напряжений можно производить только в том случае, если сравниваются напряжения на одинаковых по значению сопротивлениях.* Например, если входное сопротивление усилителя равно 75 Ом, а сопротивление нагрузки 200 Ом, то выразить усиление в децибелах можно только по основной формуле через отношение мощностей на входе и выходе. При равенстве входного сопротивления и сопротивления нагрузки усиление усилителя в децибелах можно рассчитать по любой из двух формул.

Характеристики антенн — коэффициент усиления, уровень задних и боковых лепестков и т. д.— могут быть подсчитаны в децибелах как через отношение мощностей (по основной формуле), так и через отношение напряжений. Это объясняется тем, что коэффициент усиления антенны определяется ее сравнением с полуволновым вибратором при условии равенства сопротивлений нагрузок; задние и боковые лепестки сравниваются с основным лепестком также при одной и той же нагрузке и т. д. Угол раствора основного лепестка диаграммы направленности определяется по спаду ЭДС до уровня 0,7 или мощности до уровня 0,5. Этому спаду ЭДС или мощности соответствует уменьшение уровня сигнала на 3 дБ. Следовательно, пользуясь децибелами, можно считать углом раствора основного лепестка диаграммы направленности такой угол, в пределах которого уровень принимаемого сигнала снижается более чем на 3 дБ.

Характеризуя затухание в кабелях, иногда пользуются вместо децибел более крупной единицей — непером: 1 непер равен 8,68 децибел. В литературе очень часто параметры телевизионных антенн, так же как и других радиотехнических устройств, даны в децибелах. Поэтому целесообразно привести несколько практических примеров, которые помогут радиолюбителям правильно переводить отношения мощностей и напряжений в децибелы и обратно.

Пример 1. Определить коэффициент усиления антенны К, дБ, если не коэффициент усиления «в разах» по напряжению $K_U=2{,}5$:

$$K=20\lg 2{,}5=20\cdot 0{,}4=8 \text{ дБ}.$$

Пример 2. Определить коэффициент усиления антенны «в разах» по напряжению K_U, если ее коэффициент усиления в децибелах $K=12$ дБ:

$$K=20\lg K_U,\ \text{откуда}\ K_U=K/20=12/20=0{,}6;\ K_U=4.$$

Пример 3. Определить коэффициент усиления антенны «в разах» по мощности K_P, если ее коэффициент усиления в децибелах $K=14$ дБ.

$$K=10\lg K_P,\ \text{откуда}\ K_P=K/10=14/10=1{,}4;\ K_P=2{,}5.$$

Пример 4. Определить уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности в децибелах γ, если уровень «в разах» по напряжению $\gamma_U=0{,}2$:

$$\gamma=20\lg 0{,}2=20(-0{,}7)=-14 \text{ дБ}.$$

В связи с примером 4 нужно отметить следующее. Ослабление сигнала можно в принципе указывать как в —дБ, так и в +дБ. Однако в последнем случае нужно обязательно уточнить, что речь идет именно об ослаблении сигнала. С учетом этого замечания уровень задних и боковых лепестков применительно к примеру 4 можно указать с помощью децибел двояким образом:

а) уровень задних и боковых лепестков относительно уровня основного лепестка составляет —14 дБ;

б) уровень задних и боковых лепестков ниже уровня основного лепестка на 14 дБ.

Пример 5. Определить, во сколько раз понизится напряжение на выходе кабеля $U_{вых}$ по сравнению с напряжением на его входе $U_{вх}$, если затухание в

кабеле T=12 дБ. Предполагается, что кабель согласован с нагрузокй, т. е. входное сопротивления кабеля равно сопротивлению нагрузки R независимо от длины кабеля.

Поскольку ослабление (затухание) выражено в +дБ, то будем искать отношение большего напряжения к меньшему, т. е. $U_{вх}/U_{вых}$:

$$T=20\lg(U_{вх}/U_{вых}),\ \text{откуда}\ \lg(U_{вх}/U_{вых})=T/20=12/20=0{,}6;$$

$$U_{вх}/U_{вых}=4.$$

Напряжение на выходе понизится в 4 раза.

Предположим, что разность уровней сигнала между выходом и входом кабеля была бы задана в —дБ : T=—12 дБ. В этом случае мы искали бы отношение меньшего напряжения к большему, т. е. $U_{вых}/U_{вх}$:

$$T=20\lg(U_{вых}/U_{вх}),\ \text{откуда}\ \lg(U_{вых}/U_{вх})=T/20=-12/20=-0{,}6;$$

$$U_{вых}/U_{вх}=0{,}25.$$

Конечный результат получился такой же.

Расчет напряжения на входе приемника. Если известны параметры антенны, напряженность поля в точке приема, тип и длина кабеля снижения, напряжение на входе телевизионного приемника $U_{пр}$, мВт, можно определить по формуле

$$U_{пр}=(E\lambda K_U)/(2\pi N_U T_U),$$

где E — напряженность поля, мВ/м; λ — длина волны, м, соответствующая несущей частоте изображения ($\lambda=300/f_{из}$, [МГц]); K_U — коэффициент усиления антенны в «разах» по напряжению относительно полуволнового вибратора; N_U — потери рассогласования в «разах» по напряжению, определяемые при известном КБВ антенны по графику на рис. 7 с соответствующим переводом из децибел в отношение напряжений; T_U — ослабление сигнала в кабеле снижения в «разах» по напряжению; π=3,14.

При КБВ антенны более 0,4 (КСВ менее 2,5) можно принять $N_U=1$.

Пример. Определить напряжение на входе телевизионного приемника при следующих исходных данных. Телевизионное вещание в месте приема ведется на 9-м канале. Напряженность поля на несущей частоте изображения E=3,5 мВ/м. Для приема используется четырехэлементная антенна типа «волновой канал» со следующими параметрами: K=6 дБ, КБВ=0,5, ослабление сигнала в кабеле снижения T=5 дБ.

1. Определяем по табл. 1 несущую частоту изображения 9-го канала: $f_{из}=199{,}25$ МГц.

2. Длина волны, м, соответствующая несущей частоте изображения: $\lambda=300/f_{из}$ [МГц]$=300/199{,}25=1{,}51$ м.

3. Коэффициент усиления антенны K в «разах» по напряжению

$$K=20\lg K_U;\ K_U=K/20=6/20=0{,}3;\ K_U=2.$$

4. Учитывая, что КБВ более 0,4, принимаем $N_U=1$.

5. Ослабление сигнала в кабеле снижения T в «разах» по напряжению

$$T=20\lg T_U;\ T_U=T/20=5/20=0{,}25;\ T_U=1{,}78.$$

6. Напряжение на входе приемника

$$U_{пр}=(E\lambda K_U)/(2\pi N_U T_U)=(3,5\cdot 1,51\cdot 2)/(2\cdot 3,\ 14\cdot 1\cdot 1,78)=0,85\ мВ.$$

Если измерить напряжение на входе приемника, то можно по этой же формуле определить напряженность поля в месте приема.

ГЛАВА 5.
ПРОСТЕЙШИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ

Основной разновидностью простейших телевизионных антенн являются вибраторные антенны (рис. 19), используемые преимущественно в качестве активных элементов сложных направленных антенн, в том числе антенн «волновой канал».

Нарезной линейный вибратор (рис. 19, а) выполнен в виде трубы или стержня длиной около половины длины волны. Точная длина вибратора может быть определена по формуле

$$l=\frac{\lambda}{2}\left(1-\frac{\Delta\%}{100}\right),$$

где $\Delta\%$ — коэффициент укорочения полуволнового вибратора, показывающий,

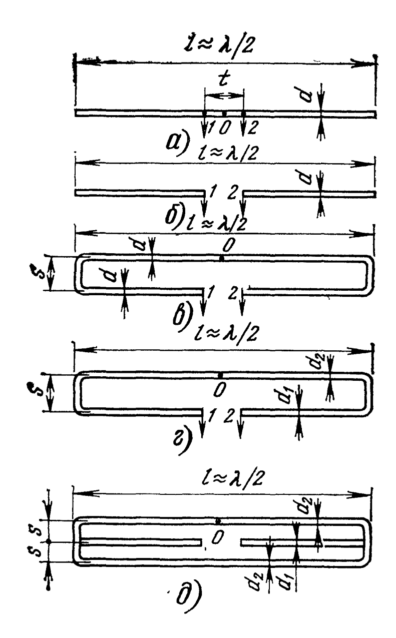


Рис. 19

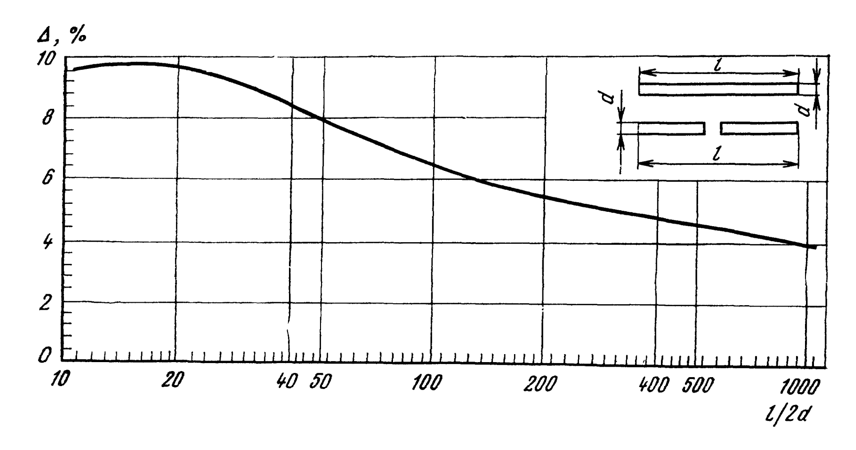


Рис. 20

на сколько процентов от половины длины волны нужно укоротить вибратор, чтобы он оказался настроенным в резонанс.

Значение коэффициента укорочения зависит от отношения длины вибратора l к его диаметру d и определяется по графику рис. 20. Чем тоньше вибратор, тем меньше коэффициент укорочения и тем ближе длина вибратора к половине длины волны.

Крепление вибратора к металлической или деревянной мачте может производиться без промежуточных изоляторов в точке О (рис. 19, а), являющейся точкой нулевого потенциала. Входное сопротивление вибратора зависит от положения точек питания и возрастает по мере их удаления от середины вибратора. Зависимость входного сопротивления от положения точек питания показана на рис. 21. Как видно из этого графика, входное сопротивление вибратора составляет 75 Ом при отношении расстояния между точками питания t к длине вибратора l, равном 0,15 ... 0,2, т. е. в том случае, когда расстояние между точками питания составляет примерно 1/5 длины вибратора. Столь большое расстояние между точками питания затрудняет подключение к вибратору кабеля

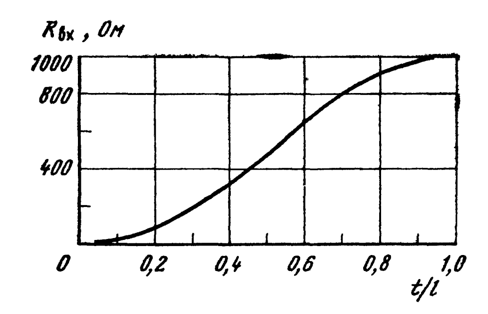


Рис. 21

снижения, так как при большом разносе проводников образуется неоднородность, ухудшающая согласование вибратора с кабелем. Подключение кабеля снижения может производиться через плавно сходящуюся двухпроводную линию (дельта-трансформатор), что дает возможность улучшить согласование. Однако этот способ питания применительно к приемным антеннам конструктивно сложен. В связи с трудностями подключения кабеля снижения линейный неразрезной вибратор используется в качестве приемной телевизионной антенны сравнительно редко.

Диаграмма направленности горизонтально расположенного вибратора в горизонтальной плоскости представляет собой «восьмерку», коэффициент усиления равен единице (0 дБ).

Разрезной линейный вибратор (см. рис. 19, б) состоит из двух трубок или стержней, разделенных зазором, и представляет собой одну из распространенных простейших антенн.

Точная длина вибратора 1 определяется с учетом коэффициента укорочения по формуле, приведенной выше для неразрезного вибратора. При этом коэффициент укорочения определяется, как для неразрезного вибратора, по графику рис. 20.

Входное сопротивление вибратора чисто активно и составляет 73 Ом, что обеспечивает хорошее согласование с коаксиальным кабелем. Диаграмма направленности горизонтально расположенного вибратора в горизонтальной плоскости является двухлепестковой и имеет вид «восьмерки», а в вертикальной плоскости имеет вид окружности (направленные свойства в вертикальной плоскости отсутствуют).

Рабочая полоса частот вибратора определяется допустимыми искажениями формы диаграммы направленности и допустимым ухудшением согласования с фидером при отклонении рабочей частоты от резонансной. Форма диаграммы направленности сохраняется практически неизменной до частот, превышающих резонансную в 1,6 раза. На более высоких частотах в направлении максимумов обоих лепестков диаграммы появляются провалы, а на частотах, превышающих резонансную в 2 раза, искажения диаграммы становятся значительными — лепестки раздваиваются и диаграмма становится четырехлепестковой с нулевыми направлениями вдоль оси и перпендикулярно оси вибратора. Например, диаграмма направленности вибратора, настроенного на частоту 70 МГц (f=4,28 м), остается примерно постоянной до частоты 110 МГц, на более высоких частотах появляются провалы в лепестках диаграммы, а на частоте около 140 МГц лепестки раздваиваются полностью и прием с главного направления (перпендикулярно от вибратора) становится невозможным.

Более существенное ограничение рабочей полосы частот, в которой может быть использован вибратор, происходит из-за того, что на частотах, отличных от резонансной, появляется реактивная составляющая входного сопротивления (индуктивного характера на частотах выше резонансной и емкостного на частотах ниже резонансной). Наличие реактивной составляющей входного сопротивления приводит к уменьшению коэффициента бегущей волны и соответственно к уменьшению отдаваемой мощности. С учетом изложенных ограничений рабочая полоса частот вибратора составляет ±(20 ... 25) % резонансной.

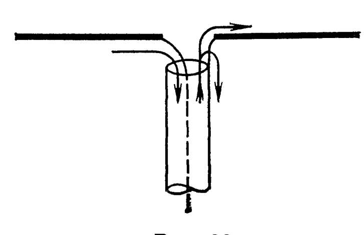


Рис. 22

Значение коэффициента бегущей волны зависит от диаметра трубок вибратора. Чем больше диаметр трубки, тем медленнее убывает коэффициент бегущей волны при отклонении частоты от резонансной и тем широкополоснее антенна. На практике вибраторы метровых волн изготавливаются из труб диаметром 8 ... 30 мм дециметровых волн — 4 ... 16 мм. Применением специальных мер (изготовление каждой половинки вибратора из нескольких трубок либо из плоской треугольной пластины) можно расширить рабочую полосу частот вибратора до ± (30 ... 40) % резонансной.

Крепление вибратора производится с помощью изоляционных монтажных коробок из текстолита, полистирола, капролена и других пластмасс. На дециметровых волнах лучше использовать фторопласт, хотя это и не обязательно.

Подключение коаксиального кабеля к разрезному вибратору должно производиться через симметрирующее устройство, так как при непосредственном подключении кабеля к вибратору (внутренний проводник соединен с одной из трубок, наружный — с другой), как показано на рис. 22, токи высокой частоты затекают на внешнюю поверхность наружного проводника кабеля, что приводит к искажениям формы диаграммы направленности и снижению помехоустойчивости телевизионного приема.

Конструктивные варианты симметрирующих устройств показаны на рис. 23.

Четвертьволновый стакан (рис. 23, а) состоит из наружной 1 и внутренней 2 труб, а также центрирующего опорного изолятора 3. Через трубу 2 протягивается коаксиальный кабель 4 с волновым сопротивлением 75 Ом, внутренний проводник которого соединяется с одной из трубок вибратора, а наружный — с другой. Стакан представляет собой концентрическую короткозамкнутую линию, длина которой равна $\lambda/4$. Входное сопротивление такой линии очень велико, что препятствует затеканию токов высокой частоты на внешнюю поверхность наружного проводника коаксиального кабеля.

Четвертьволновый мостик (рис. 23, б), состоящий из двух трубок 1, изолятора 2 и короткозамыкающей перемычки 3, представляет собой двухпроводную короткозамкнутую линию длиной $\lambda/4$, подключенную параллельно трубкам вибратора. Через одну из трубок мостика (например, правую) протягивается кабель снижения 4 с волновым сопротивлением 75 Ом. Наружный проводник кабеля подключается к правой трубке вибратора, центральный проводник — к левой. Если кабель протянуть через левую трубку мостика, то и наружный проводник должен быть подключен к левой трубке вибратора, а внутренний проводник — к правой. Токи, текущие по трубкам мостика, имеют противоположные направления, в связи с чем мостик практически не излучает. Следова-

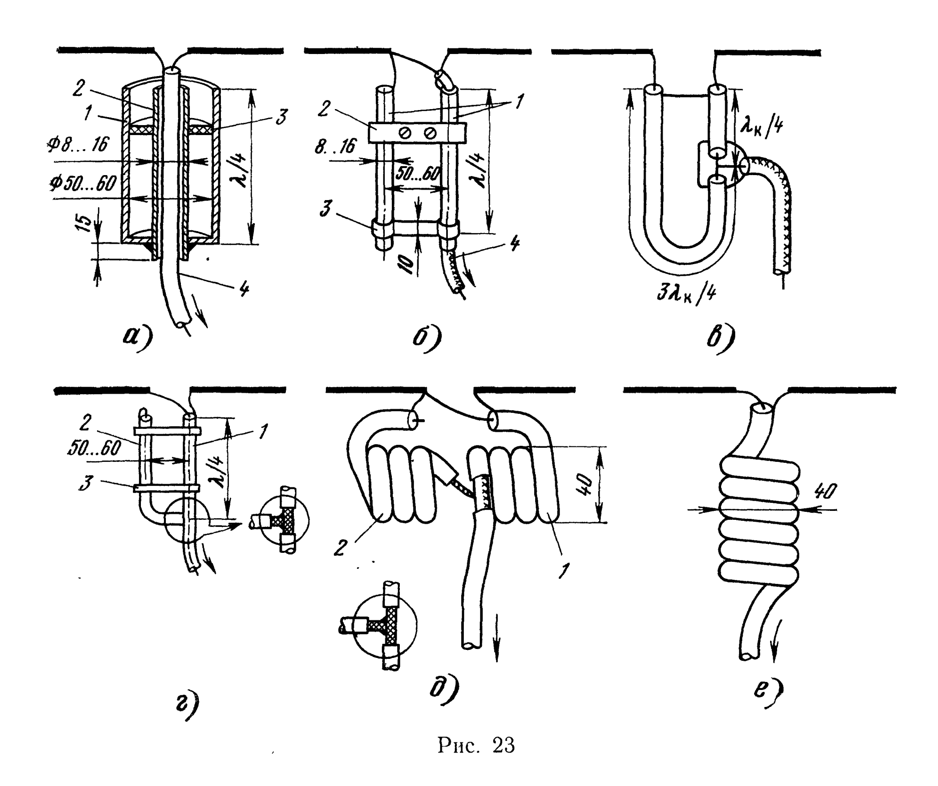


Рис. 23

тельно, принцип действия мостика состоит в том, что излучение тока, вытекающего из внутренней поверхности наружного проводника кабеля на поверхность одной из трубок мостика, компенсируется противоположным по фазе излучением тока, текущего по другой трубке мостика. С точки зрения симметрии токов в трубках вибратора длина мостика особого значения не имеет. Однако ее следует выбрать равной λ/4, так как в противном случае мостик будет шунтировать вибратор, что приведет к ухудшению коэффициента бегущей волны в кабеле снижения.

Длина стакана и мостика выбирается равной λ/4 на средней частоте телевизионного канала. Если же вибратор рассчитан на работу в нескольких каналах, то длина стакана и мостика должна быть равна λ/ на средней частоте этой группы каналов.

Пример. Определить длину мостика 1, м, для линейного разрезного вибратора 3-го канала ($f_{ср}$=80 МГц).

1. Определяем длину волны, соответствующую средней частоте 3-го канала:

$$\lambda = 300/f[\text{МГц}] = 300/80 = 3{,}75 \text{ м.}$$

2. Определяем длину мостика

$$l = \lambda/4 = 3{,}75/4 = 0{,}94 \text{ м.}$$

Стакан и мостик работают в полосе частот $\pm(20 \dots 25)$ % относительно средней частоты. Однако их допустимо использовать и в несколько более широкой полосе частот до $\pm(30 \dots 40)$ %.

Симметрирующее устройство на рис. 23, в выполнено в виде U-образного колена из коаксиального кабеля. Разность длин кабелей, образующих U-колено, составляет половину длины волны в кабеле $\lambda_к/2$. При этом напряжения на входных зажимах вибратора равны по величине и противоположны по фазе, что обеспечивает симметрию возбуждения вибратора. Токи, текущие по вибратору, на внешнюю поверхность наружного проводника кабеля не затекают, так как трубки вибратора не имеют непосредственного контакта с наружным проводником. Наружные проводники кабелей нужно между собой спаять. Полосовые свойства описанного U-колена несколько хуже, чем у стакана и мостика. Нормальная работа U-колена обеспечивает в полосе частот $\pm(10 \dots 15)$ % относительно средней частоты.

Симметрирующее устройство на рис. 23, г представляет собой четвертьволновый мостик на отрезках коаксиального кабеля. Роль трубок мостика играют наружные проводники кабелей. Наружный проводник кабеля снижения 1 подключается к одной трубке вибратора, наружный проводник кабеля 2 — к другой. Внутренний проводник кабеля снижения 1 подключается к той же трубке, к которой подключен наружный проводник кабеля 2.

На расстоянии $\lambda/4$ от вибратора наружные проводники кабелей 1 и 2 припаиваются друг к другу, образуя четвертьволновый короткозамкнутый мостик. Внутренний проводник кабеля 2 на обоих концах кабеля можно либо срезать заподлицо и оставить разомкнутым, либо спаять с наружными проводниками. Пайку наружных проводников кабелей 1 и 2 друг к другу лучше производить легкоплавким припоем во избежание оплавления изоляции. Для обеспечения параллельности кабелей нужно установить между ними изоляционные распорки 3. Вместо установки распорок можно закрепить кабели параллельно друг другу на изоляционной пластине. Диапазонные свойства такие же, как у симметрирующих устройств на жестких линиях (см. рис. 23, а, б).

Симметрирующее устройство, показанное на рис. 23, д состоит из двух катушек, свернутых из коаксиального кабеля. Катушка 1 является продолжением кабеля снижения. Внутренний проводник кабельной катушки 2 на обоих концах катушки можно либо срезать заподлицо и оставить разомкнутым, либо спаять с наружными проводниками. Устройство является широкополосным и очень простым по конструкции, но несколько уступает другим типам симметрирующих устройств по качеству согласования вибратора с кабелем.

Симметрирующее устройство на рис. 23, е является по конструкции наиболее простым, но применяется в тех случаях, когда изготовить другое симметрирующее устройство по каким-либо причинам не представляется возможным. В этом устройстве затекание токов высокой частоты на внешнюю поверхность наружного проводника кабеля устраняется не полностью.

Выше указывалось, что для улучшения частотных свойств разрезного линейного вибратора его половины могут быть выполнены из нескольких трубок. Простейшей по конструкции разновидностью такого вибратора является *веерный вибратор* (рис. 24), каждая половина которого состоит из нескольких трубок,

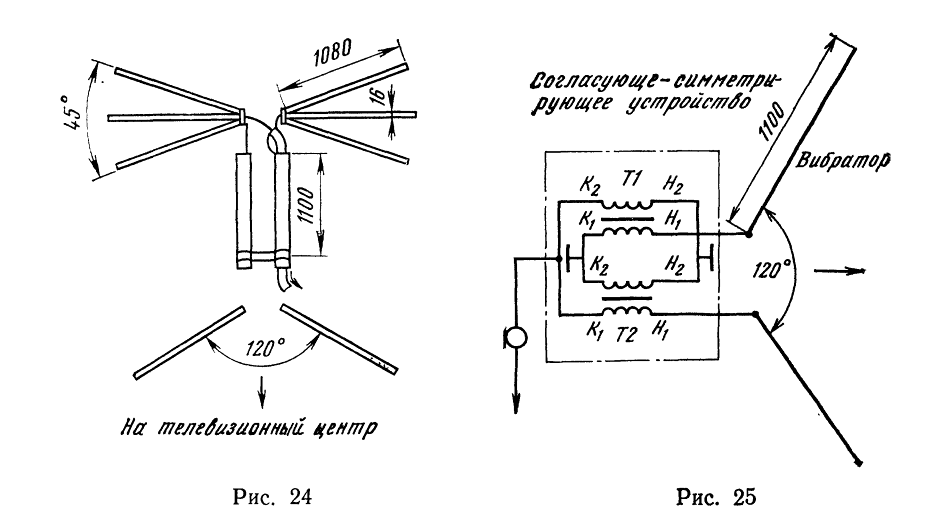


Рис. 24

Рис. 25

расположенных в одной плоскости и расходящихся под некоторым углом друг к другу. Веерный вибратор работает на каналах 1—5 в полосе частот 48,5 ... 100 МГц и на каналах 6—12 в полосе частот 174 ... 230 МГц, т. е. на всех каналах метровых волн. Длина вибратора составляет примерно $\lambda/2$ на средней частоте каналов 1—5 и $3\lambda/2$ на средней частоте каналов 6—21. Таким образом, на каналах 6—12 вибратор работает на третьей пространственной гармонике. В этом режиме входное сопротивление вибратора близко к его сопротивлению при полуволновом резонансе, что обеспечивает достаточно хорошее согласование с кабелем снижения. Как видно из рис. 24, угол между плоскостями, в которых расположены трубки вибратора, составляет 120° (наклон в сторону телевизионного центра). Необходимость такого наклона связана со следующими обстоятельствами. Диаграмма направленности линейного вибратора в горизонтальной плоскости при длине вибратора, равной $\lambda/2$, представляет собой «восьмерку». На каналах 6—12, т. е. при длине вибратора, равной $3\lambda/2$, диаграмма направленности искажается: основные лепестки диаграммы раздваиваются, и в направлении на телевизионный центр в диаграмме появляется провал. Для «исправления» диаграммы, т. е. для устранения провала, производится наклон плоскостей, в которых расположены трубки вибратора. При этом не только устраняется провал в переднем лепестке «восьмерки», но и снижается уровень ее заднего лепестка, в результате чего вибратор на каналах 6—12 становится более направленным, чем на каналах 1—5.

Коэффициент усиления широкополосного веерного вибратора по полю равен единице (0 дБ) на каналах 1—5 и 1,15 (1,3 дБ) на каналах 6—12. Коэффициент бегущей волны в кабеле снижения с волновым сопротивлением 75 Ом составляет на краях рабочей полосы частот 0,3 ... 0,4. Длина симметрирующего короткозамкнутого мостика равна $\lambda/4$ на средней частоте каналов 1—5 и $3\lambda/4$ на каналах 6—12.

На дециметровых волнах (каналы 21—40) вся полоса частот может быть перекрыта с помощью обычных линейных или петлевых вибраторов. Специальные широкополосные вибраторы дециметровых волн, состоящие, например, из двух треугольных пластин, применяются в основном в качестве активного вибратора многоэлементных направленных антенн типа «волновой канал».

Описанный веерный вибратор может применяться для приема телевизионных передач на любом из каналов метровых волн с 1-го по 12-й на расстояниях до 50 ... 60 км от телевизионных центров.

Разрезной вибратор, плечи которого согнуты под углом 120° друг к другу, применен в широко распространенной индивидуальной антенне промышленного производства на каналы 1—12 метровых волн ТАИ-12М, разработанной под руководством А. А. Кукаева и В. К. Парамонова. Схема антенны приведена на рис. 25. Трансформаторы Т1 и Т2 выполнены на ферритовых сердечниках марки М50 В-42-4 К 7×4×2, намотка рядовая в два провода ПЭТВ-2 диаметром 0,21 мм, 6 витков.

Петлевой вибратор (см. рис. 19, в) представляет собой удобную в конструктивном отношении слабонаправленную антенну, используемую обычно в качестве активного вибратора многоэлементных антенн «волновой канал». Середина неразрезанной трубки (точка 0 на рис. 19, в) является точкой нулевого потенциала, в связи с чем петлевой вибратор можно непосредственно крепить в этой точке к любой мачте или стреле (металлической или деревянной) без изоляторов. Диаграмма направленности петлевого вибратора полностью аналогична диаграмме направленности линейного вибратора. Длина полуволнового петлевого вибратора определяется по той же формуле, что и длина полуволнового линейного вибратора. В качестве диаметра вибратора d при определении коэффициента укорочения по графику рис. 20 следует принять эквивалентный диаметр $d_э=\sqrt{ds}$, где d — диаметр трубки, s — расстояние между осями трубок. Размеры вибраторов с достаточной степенью точности могут быть также определены по графикам, представленным на рис. 26—29.

Изготовление петлевых вибраторов метровых волн (каналы 1—12) производится из трубок диаметром 8 ... 30 мм, дециметровых волн — 4 ... 16 мм. За-

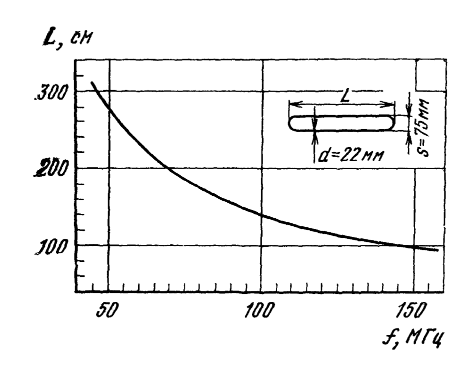


Рис. 26

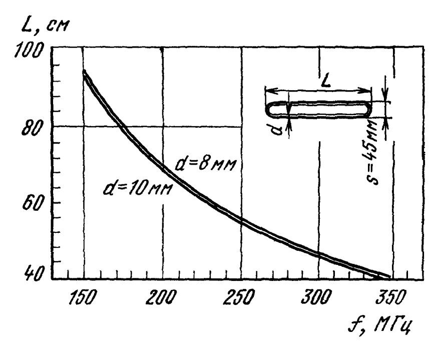


Рис. 27

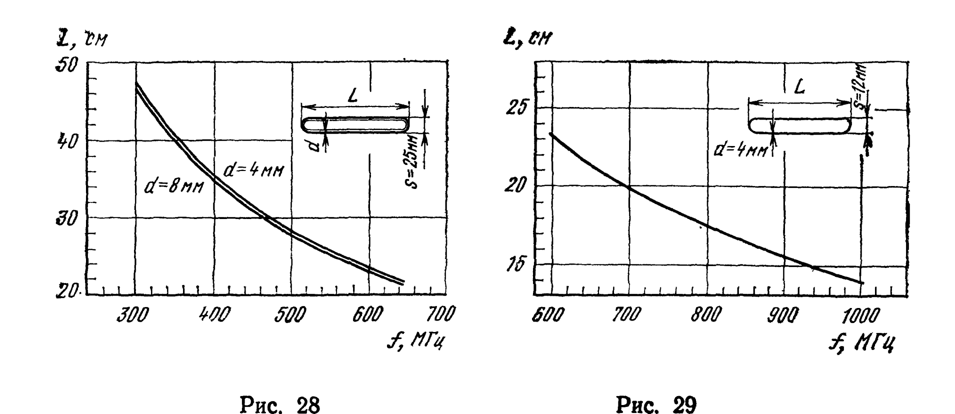


Рис. 28

Рис. 29

зор между внутренними торцами трубок равен 50...70 мм на метровых волнах и 20...30 мм на дециметровых. С целью улучшения диапазонных свойств многоэлементных антенн, в которых петлевые вибраторы используются в качестве активных элементов, расстояние между осями трубок могут быть увеличены до 150...200 мм.

Важным достоинством петлевого вибратора является возможность удобной регулировки его входного сопротивления, что используется обычно при настройке антенны типа «волновой канал» для улучшения согласования антенны с кабелем. Входное сопротивление петлевого вибратора при равных диаметрах верхней (неразрезанной) и нижней (разрезанной) трубок составляет 292 Ом. Если же диаметры трубок не равны (см. рис. 19, г), то входное сопротивление вибратора в омах определяется соотношением $R_{вх}=73n$, где n — коэффициент, зависящий от отношений d_2/d_1 (d_2 — диаметр неразрезанной трубки, d_1 — диаметр разрезанной трубки) и s/d_2 (s — расстояние между осями трубок). График для определения коэффициента n в зависимости от отношений d_2/d_1 и s/d_2 приведен на рис. 30. Как видно из графика, при одинаковых диаметрах трубок ($d_1=d_2$) коэффициент $n=4$ и входное сопротивление вибратора составляет $73\cdot4=292$ Ом. Для увеличения или уменьшения входного сопротивления следует соответственно увеличить или уменьшить отношение d_2/d_1. На практике бывает так, что для обеспечения хорошего согласования многоэлементной антенны с кабелем снижения приходится разрезанную трубку петлевого вибратора, используемого в качестве активного вибратора, делать очень тонкой, что неудобно в конструктивном отношении. В таких случаях целесообразно применить тройной петлевой вибратор, который состоит из трех трубок — двух неразрезанных и одной разрезанной (см. рис. 19, д). Коэффициенты n для тройного петлевого вибратора в зависимости от диаметров трубок и расстояния между ними определяются по графику, показанному на рис. 31. Из графика видно, что при равенстве диаметров трубок ($d_2d_1=1$) $n=9$ и входное сопротивление вибратора составляет $75\cdot9$, т. е. 657 Ом. Выбором отношения d_2/d_1 можно обеспечить согласование антенны с кабелем снижения. Отметим, что если петлевой вибратор изготавливается из ленты, то регулировка входного сопро-

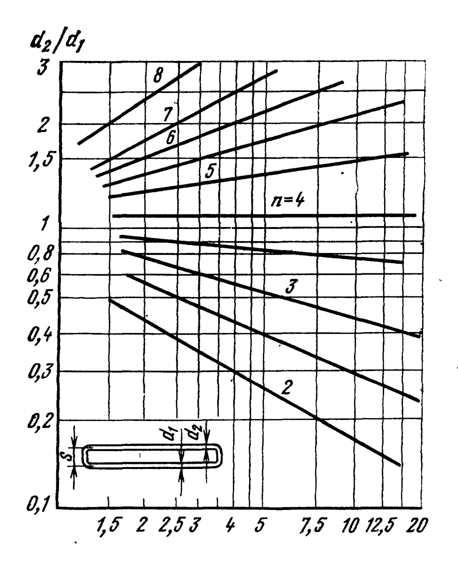


Рис. 30

Рис. 31

Рис. 32

тивления может быть осуществлена подбором соотношения между шириной неразрезанной и разрезанной частей с плавным переходом от одной части вибратора к другой. При увеличении ширины ленты в неразрезанной части вибратора его входное сопротивление повышается, при уменьшении — понижается.

Варианты симметрирующих устройств для петлевых вибраторов показаны на рис. 32. Симметрирующее устройство, представленное на рис. 32, а, выполнено в виде U-колена из коаксиального кабеля длиной $\lambda_к/2$. Особенность полуволнового U-колена состоит в том, что оно обеспечивает не только симметрирование петлевого вибратора, но и согласование его входного сопротивления (292 Ом) с волновым сопротивлением кабеля снижения (75 Ом). Принцип симметрирования петлевого вибратора с помощью полуволнового U-колена аналогичен описанному выше принципу симметрирования линейного вибратора. Полуволновый кабель U-колена вносит сдвиг фаз, равный 180°. В связи с этим напряжения на входных зажимах петлевого вибратора относительно точки нулевого потенциала (точка 0 на рис. 32, а) имеют противоположные фазы, что обеспечивает симметрию токов в левой и правой частях вибратора. На внешнюю поверхность оболочки кабеля токи не затекают, так как оболочка изолирована от вибратора. Согласование с помощью U-колена происходит следующим образом. Сопротивление между каждым зажимом петлевого вибратора и точкой нулевого потенциала равно половине входного сопротивления и составляет 146 Ом. Полуволновый кабель U-колена пересчитывает сопротивление 146 Ом без изменения его значения в точку подключения кабеля снижения. В этой точке оба сопротивления по 146 Ом каждое оказываются включенными параллельно. Общее сопротивление на конце кабеля составляет, таким образом, 73 Ом, что обеспечивает хорошее согласование кабеля с вибратором. Внешние проводники кабеля U-колена и снижения нужно между собой спаять. Полоса частот, в которой может работать U-колено, составляет примерно ±30%.

Симметрирующее устройство, показанное на рис. 32, б, представляет собой полуволновое U-колено, свернутое в катушку. На дециметровых волнах кроме кабельного полуволнового U-колена может быть использовано малогабаритное симметрирующее устройство, показанное на рис. 32, в. В этой конструкции полуволновое U-колено образовано полосковой линией, состоящей из ленточного проводника, намотанного на диэлектрическую катушку, и подложки (земляного проводника), выполненной в виде металлического цилиндра с продольной щелью, вставленного внутрь катушки. При изготовлении катушки из диэлектрика с диэлектрической постоянной $\varepsilon=2 \dots 4$ (органическое стекло, полистирол, капролен, фторопласт) толщина стенки катушки составляет примерно 1 мм. Ленточный проводник выполняется из фольги толщиной около 0,05 мм, металлический цилиндр — из фольги толщиной 0,1 ... 0,2 мм.

ГЛАВА 6.

НАПРАВЛЕННЫЕ АНТЕННЫ

Направленные антенны используются для приема телевизионных передач на расстояниях свыше 40 ... 50 км от телевизионного центра, а также при значительном уровне помех и отраженных сигналов в месте приема. Основными разновидностями направленных приемных антенн являются антенны типа «волновой канал» и логопериодические. В радиолюбительской практике применяются иногда и другие типы направленных антенн — рамочные и зигзагообразные антенны с рефлектором, контурно-щелевые, уголковые и т. д.

Наиболее распространенными направленными антеннами являются антенны типа «волновой канал». Они обладают большим коэффициентом усиления и просты в изготовлении. Логопериодические антенны устроены более сложно и имеют при тех же габаритных размерах, что и антенны типа «волновой канал», меньший коэффициент усиления. Однако логопериодические антенны значительно широкополоснее, что позволяет использовать их в большем интервале частот на метровых и дециметровых волнах.

Конструкция и принцип действия антенны типа «волновой канал»

Антенна типа «волновой канал» состоит из ряда параллельных вибраторов, расположенных в одной плоскости: полуволнового линейного или петлевого вибратора, к которому подключен кабель снижения (активный вибратор), рефлектора и директоров (пассивные вибраторы). На рис. 33 показана для примера антенна типа «волновой канал» из пяти вабротoров — активного вибратора 1, рефлектора 2 и трех директоров 3. Каждый вибратор антенны, активный или пассивный, называют элементом. Поэтому антенна, показанная на рис. 33, называется пятиэлементной.

Рассмотрим конструкцию и принцип действия антенны типа «волновой канал». Учитывая, что на основании принципа взаимности направленные свойства

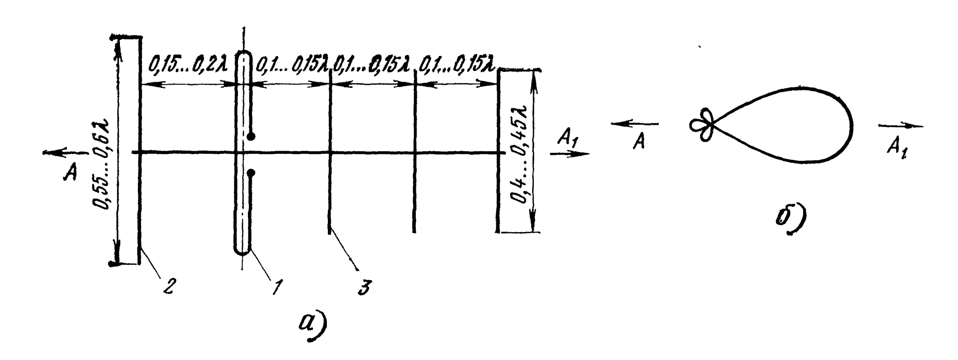


Рис. 33

антенн не зависят от того, работают они на передачу или на прием, рассмотрим для удобства работу антенны типа «волновой канал» в режиме передачи.

Если активный полуволновый вибратор 1 подключить к источнику высокочастотных колебаний, то этот вибратор, имеющий симметричную диаграмму направленности в виде «восьмерки», будет излучать электромагнитную энергию в направлении как А (в сторону рефлектора), так и A_1 (в сторону директоров). Под воздействием электромагнитной энергии, излученной активным вибратором в направлении А, в рефлекторе наводятся токи, являющиеся источником вторичного излучения. Длина рефлектора и его расстояние до активного вибратора подобраны таким образом, что излучение рефлектора ослабляет излучение активного вибратора в направлении А и усиливает его в направлении A_1. Таким образом, рефлектор является своеобразным отражателем, обеспечивающим формирование однонаправленной характеристики излучения (приема). Такой эффект может быть получен, если рефлектор длиной $\lambda/2$ расположить позади активного вибратора на расстоянии, равном $\lambda/4$. Однако на практике рефлектор располагают несколько ближе к активному вибратору, чтобы увеличить амплитуду тока в рефлекторе, что необходимо для возможно более полного ослабления электромагнитного поля в сторону рефлектора (в направлении А). При этом для обеспечения требуемой фазы тока в рефлекторе его нужно сделать немного длиннее, чем $\lambda/2$. Требуемый режим работы рефлектора обеспечивается при его длине около $0{,}6\lambda$ и расстояния между рефлектором и активным вибратором около $0{,}2\lambda$.

Компенсация излучения активного вибратора в направлении А является неполной, так как амплитуда тока в рефлекторе несколько меньше амплитуды тока в активном вибраторе. Поэтому электромагнитная энергия, излученная активным вибратором, частично «просачивается» через рефлектор, что приводит к неполной компенсации обратного излучения и появлению задних и боковых лепестков диаграммы направленности.

Концентрация энергии в переднем направлении (направление A_1) способствуют директоры, которые возбуждаются, как и рефлектор, под воздействием электромагнитного излучения активного вибратора. Для усиления излучения антенны в переднем направлении нужно, чтобы так в первом директоре отставал по фазе от тока в активном вибраторе, во втором директоре — от тока в первом директоре и т. д. Подбор нужных фаз токов осуществляется изменением длины директоров и их расстояний до активного вибратора. Наиболее благоприятные соотношения между амплитудами и фазами токов, способствующие максимальной концентрации излучения в переднем направлении, получаются обычно при постепенном уменьшении длин директоров и расстояний между ними в направлении от активного вибратора. Направленное излучение антенны типа «волновой канал» формируется, таким образом, совместным действием рефлектора и директоров.

Как правило, в антеннах типа «волновой канал» используется один рефлектор, так как применение второго рефлектора практически не улучшает направленных свойств антенны.

Иначе обстоит дело с числом директоров в антенне. Добавление каждого нового директора улучшает направленные свойства антенны и увеличивает ее коэффициент усиления. Однако чем больше директоров имеет антенна, тем

меньше сказывается на ее направленных свойствах добавление каждого нового директора. Например, если к трехэлементной антенне (активный вибратор, рефлектор и один директор) добавить один директор, то ее коэффициент усиления увеличится примерно с 5 до 6,5 ... 7 дБ, т. е. на 18 ... 25% по напряжению. Если же добавить один директор к семиэлементной антенне (активный вибратор, рефлектор и шесть директоров), то ее коэффициент усиления вырастет только на 0,4 ... 0,5 дБ.

Расстояния между элементами антенны и размеры элементов в долях средней длины волны рабочего диапазона показаны на рис. 33. Однако следует учитывать, что эти размеры могут служить лишь для ориентировочного определения длин вибраторов и расстояний между ними. Точные размеры антенн могут быть определены только в результате тщательной экспериментальной настройки.

Одноканальные антенны типа «волновой канал»

Направленные одноканальные антенны типа «волновой канал» — эффективные остронаправленные антенны с высоким коэффициентом усиления и малым уровнем задних и боковых лепестков, применяемые для приема однопрограммного телевизионного вещания при малом уровне телевизионного сигнала. В то же время использование одноканальных антенн целесообразно и при многопрограммном вещании в сложных условиях приема, т. е. при значительном уровне помех и отраженных сигналов, а также при слабом и неустойчивом сигнале. Антенная система в этом случае выполняется в виде набора одноканальных антенн, подключенных к общему фидеру снижения через фильтры или мостовые устройства. Каждая направленная одноканальная антенна обеспечивает в такой системе прием одной телевизионной программы, что позволяет существенно улучшить качество изображения не только из-за высокого коэффициента усиления антенны и ее пространственной избирательности, но также вследствие возможности независимого оптимального ориентирования каждой из антенн. В практике телевизионного приема нередки случаи, когда прием нужно вести с различных направлений. Такая необходимость возникает обычно тогда, когда точка приема находится в зоне действия двух или большего числа ретрансляторов. В этой ситуации для приема нужно также применять антенную систему из нескольких одноканальных антенн и ориентировать их в нужных направлениях.

В современных крупных системах коллективного приема телевидения и системах кабельного телевидения, рассчитанных на обслуживание нескольких тысяч и десятков тысяч абонентов, для приема многопрограммного вещания применяются практически только антенные системы, состоящие из набора направленных одноканальных антенн.

Для приема телевизионных передач на метровых волнах чаще всего применяются следующие разновидности одноканальных антенн «волновой канал»: на каналах с 1-го по 5-й (f = 48,5 ... 100 МГц) — трех-, четырех-, пяти- и семиэлементные антенны, на каналах с 6-го по 12-й (f = 174 ... 230 МГц) — трех, пяти-, семи- и одиннадцатиэлементные антенны. В качестве активного вибратора обычно используется петлевой, так как его можно крепить к несущей стреле

без изоляторов в середине неразрезанной трубки. Рефлектор может быть как одиночным, так и сдвоенным. Сдвоенный рефлектор состоит из двух трубок, разнесенных в вертикальной плоскости симметрично относительно стрелы, и позволяет уменьшить уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности.

На каналах с 1-го по 5-й трехэлементные антенны используются на расстоянии 40 ... 60 км от телевизионного центра, четырех- и пятиэлементные — 60 ... 80 км, семиэлементные — 70 ... 90 км. На каналах с 6-го по 12-й трехэлементные антенны применяют на расстоянии 40 ... 50 км, пятиэлементные — 50 ... 60 км, семиэлементные — 60 ... 70 км, одиннадцатиэлементные — на более 70 ... 90 км. Эти расстояния являются средними. Дальность приема на антенну с тем или иным числом элементов может меняться в зависимости от мощности передатчика телевизионного центра и рельефа местности. При большой мощности передатчика и установке антенны на повышенных местах дальность приема в ряде случаев превышает указанную выше.

Антенны типа «волновой канал» рекомендуется изготовлять из труб следующих диаметров:

а) несущая стрела: 30 ... 40 мм на каналах с 1-го по 5-й, 20 ... 30 мм на каналах с 6-го по 12-й;

б) вибраторы: 16 ... 22 мм кананалх с 1-го по 5-й, 10 ... 14 мм на каналах с 6-го по 12-й.

Крепление стрелы с вибраторами к мачте лучше производить в центре тяжести стрелы. В многоэлементных антеннах для уменьшения прогиба стрелы нужно установить подкосы. Подключение кабеля снижения с волновым сопротивлением 75 Ом к активному петлевому вибратору должно производиться через симметрирующее устройство (см. рис. 32).

Коэффициенты усиления одноканальных антенн «волновой канал» на каналы 1—5 и 6—2 приведены соответственно в табл. 8 и 9. На рис. 34 и 35 показаны схемы расположения элементов одноканальных антенн на каналы 1—5 и 6—12, размеры по каналам приведены в табл. 10 и 11. Возможные конструк-

Таблица 8. **Коэффициенты усиления одноканальных многоэлементных антенн на каналы 1—5**

Число элементов	2	3	4	5	6	7
Коэффициент усиления К, дБ	2	4,5	6	7,5	8,5	9

Таблица 9. **Коэффициенты усиления одноканальных многоэлементных антенн на каналы 6—12**

Число элементов	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент усиления К, дБ	2,5	5	7	8,5	9,5	10,5	11	11,5	12

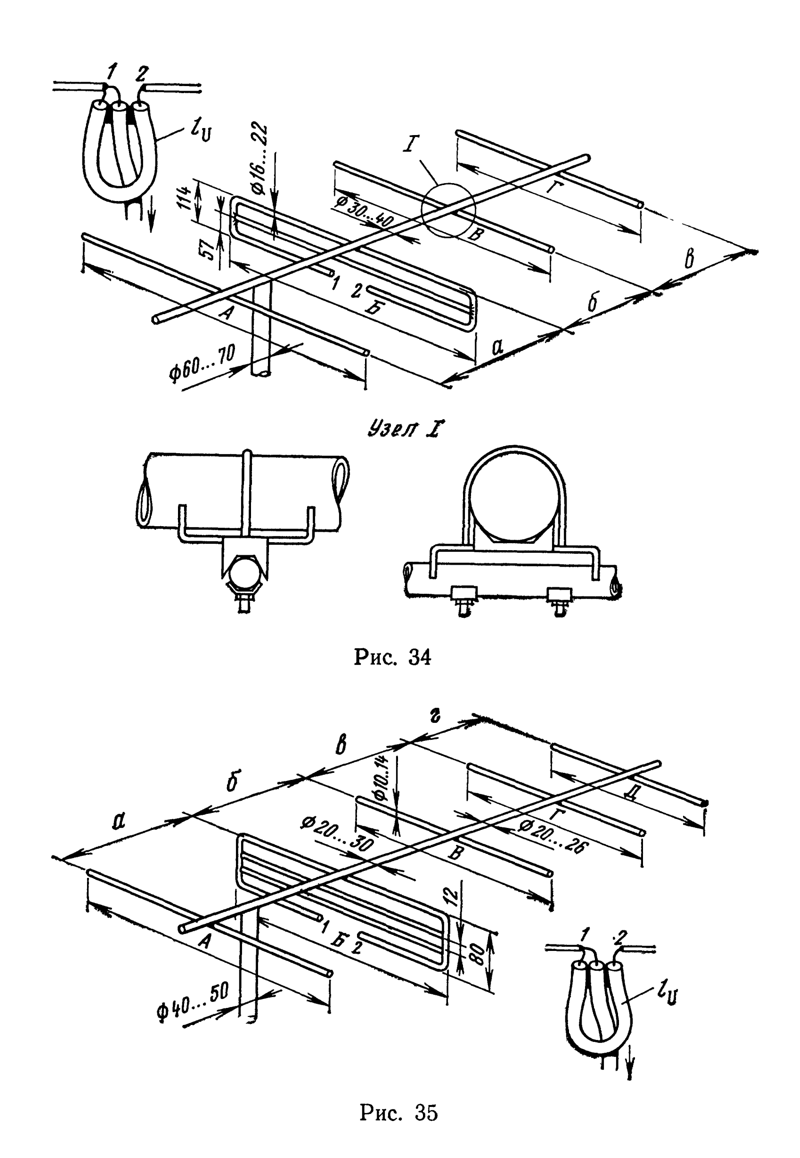


Рис. 34

Рис. 35

тивные варианты крепления элементов антенн к несущей стреле и стрелы к мачте показаны на рис. 34 и 36.

Отметим, что в дециметровом диапазоне волн относительная полоса частот одного телевизионного канала очень мала (менее ±1%) и настроить антенну на столь узкую полосу частот практически невозможно. Поэтому антенны «волновой канал», дециметрового диапазона являются либо многоканальными, либо диапазонными.

Таблица 10. **Размеры четырехэлементных антенн на каналы 1—5 (рис. 34)**

Телевизионные каналы		1	2	3	4	5
Размеры, мм	А	2932	2490	1930	1756	1602
	Б	2736	2322	1800	1638	1494
	В	2418	2052	1590	1448	1320
	Г	2006	1704	1322	1202	1096
	а	1239	1050	815	342	676
	б	616	522	405	369	336
	в	1208	1026	798	723	660
	l_U	1900	1600	1240	1120	1030

Таблица 11. **Размеры пятиэлементных, антенн на каналы 6—12 (рис. 35)**

Телевизионные каналы		6	7	8	9	10	11	12
Размеры, мм	А	862	828	796	762	732	702	676
	Б	748	718	688	662	636	610	586
	В	676	648	622	598	574	550	528
	Г	612	588	564	540	520	498	480
	Д	602	578	554	532	510	490	470
	а	375	460	346	332	318	306	249
	б	250	240	230	221	212	203	196
	в	392	376	361	347	333	220	307
	г	500	480	461	442	425	408	391
	l_U	550	530	510	490	470	455	440

Скоба
Стрела
Мачта

Рис. 36 →

Многоканальные антенны типа «волновой канал»

При определенных размерах антенны типа «волновой канал» можно за счет некоторого снижения коэффициента усиления получить растянутую двугорбую частотную характеристику коэффициента усиления и обеспечить прием двух любых несмежных каналов метровых волн из числа каналов с 1-го по 5-й (I и II телевизионные диапазоны). Такие антенны могут быть использованы для приема телевизионных передач на расстояниях 50 ... 60 км и более от телевизионного центра. На рис. 37, а приведена схема расположения вибраторов многоканальных антенн, а в табл. 12 даны размеры этих антенн для следующих каналов; 1- и 3-, 1- и 4-, 2- и 4-й. Кабель снижения с волновым сопротивлением 75 Ом может быть подключен к этим антеннам через симметрирующие U-колено длиной $\lambda_к/2$, где $\lambda_к$ — длина волны в кабеле ($\lambda_к=\lambda/1{,}52$) на средней

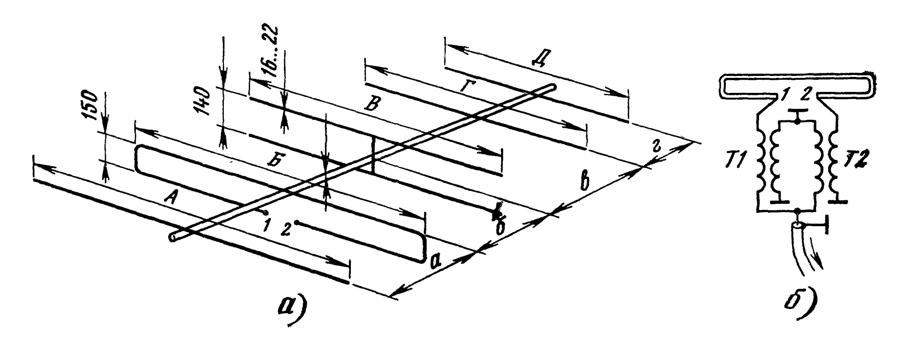


Рис. 37

частоте полосы частот, ограниченной нижней частотой более низкочастотного канала. Так, при изготовлении антенны на каналы 2 и 4 U-колено должно быть рассчитано на среднюю частоту полосы частот 58 ... 92 МГц, т. е. на частоту $f_{ср}=75$ МГц. При этом $\lambda_{ср}=300/f_{ср}[МГц]=300/74=4$ м; $\lambda_к=\lambda_{ср}/1{,}52=4/1{,}52=2{,}62$ м; длина U-колена $l_U=\lambda_к/2=2{,}62/2=1{,}31$ м.

Подключение кабеля может быть также произведено через широкополосное проволочное согласующе-симметрирующее устройство, показанное на рис. 37, б. Катушки трансформаторов Т1 и Т2 наматывают проводом ПЭТВ-2 диаметром 0,3 мм с числом витков 19×2, намотка рядовая, двухзаходная.

Коэффициент усиления описанных многоканальных антенн относительно полуволнового вибратора — около 4 дБ, уровень задних и боковых лепестков 12 ... 20 дБ, КБВ 0,5 ... 0,8.

Теоретические исследования многоканальных телевизионных антенн с расширенной полосой пропускания и их практическая разработка выполнены в нашей стране под руководством В. Д. Кузнецова и А. А. Кукаева.

Таблица 12. **Размеры многоканальных антенн I и II телевизионных диапазонов (рис. 37)**

Размер, мм	Телевизионные каналы		
	1- и 3-й	1- и 4-й	2- и 4-й
А	3045	2945	2560
Б	2540	2540	2130
В	1670	1515	1405
Г	1540	1460	1295
Д	1490	1440	1255
а	940	940	790
б	215	190	180
в	580	690	487
г	670	710	563

Диапазонные антенны

Контурно-щелевая антенна (рис. 38) на каналы 6—12 метровых волн (III телевизионный диапазон) состоит из рамочного вибратора прямоугольной формы и решетчатого рефлектора. Коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора около 5 дБ, уровень задних и боковых лепестков 14 ... ... 22 дБ, КБВ 0,6 ... 0,8. Имеет повышенную механическую жесткость и может быть использована в условиях вибрационных и ударных нагрузок. При изготовлении антенны в соответствии с рис. 38 следует учитывать, что узел II представляет собой металлическую короткозамыкающую перемычку, а пластина на короткозамкнутом мостике выполняется из изоляционного материала. Крепление рамочного вибратора к мачте осуществляется с помощью металлических штанг без промежуточных изоляторов. Контурно-щелевая антенна на каналы 1—5 метровых волн (I и II телевизионные диапазоны) имеет аналогичную конструкцию; при этом все размеры, указанные на рис. 38, должны быть умно-

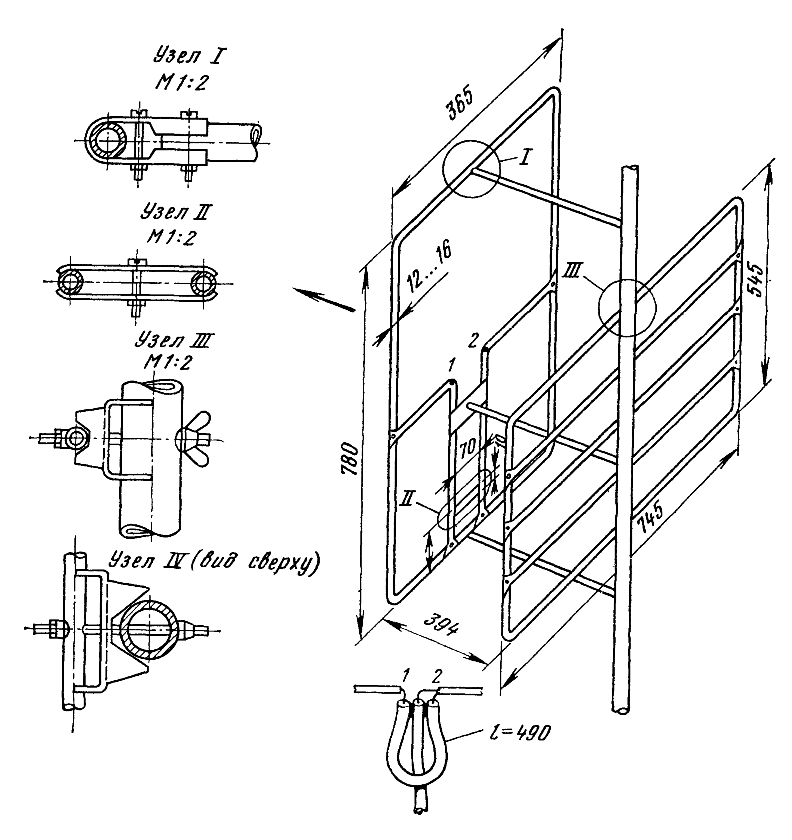


Рис. 38

жены на коэффициент 2,67, равный отношению средних частот III (f_{cp}= =200 МГц) и I—II (f_{cp}=75 МГц) диапазонов. Один из конструктивных вариантов контурно-щелевой антенны показан на рис. 39.

Антенна типа «волновой канал» на каналы 6—12 метровых волн (рис. 40) состоит из шести вибраторов (элементов) — активного тройного петлевого вибратора, сдвоенного рефлектора и четырех директоров. Коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора 7 дБ, уровень задних и боковых лепестков 14 ... 20 дБ, КБВ 0,5 ... 0,8. Узлы крепления вибраторов к несущей стреле и стрелы к мачте аналогичны применяемым в одноканальных антеннах.

Зигзагообразная проволочная антенна — широкополосная синфазная антенна, состоящая из двух разнесенных по вертикали и параллельно включенных рамочных излучателей. Антенна очень проста по конструкции, изготавливается из широкодоступных материалов и получила широкое распространение, особенно в сельской местности. Конструкция и размеры антенны на каналы 1—5 метровых волн приведены на рис. 41. К деревянному бруску 1, являющемуся одновременно центральной стойкой и мачтой антенны, крепят две поперечные рейки 2. В верхней и нижней частях центральной стойки установлены металлические планки 3. Такие же планки 4, но через диэлектрические прокладки из органического стекла, полистирола или другого изоляционного материала крепятся на концах поперечных реек. На центральной стойке между рейками размещают диэлектрическую пластину, на которой укреплены две металлические планки 5. Провод диаметром 2 ... 3 мм либо антенный канатик припаивают к металлическим планкам 3, 4 и 5, как показано на рис. 41, либо плотно зажимают под болт и окрашивают. Кабель снижения крепят к нижней планке 3, являющейся точкой нулевого потенциала, укладывают вдоль двух сторон внутреннего провода нижней рамки и припаивают к планкам 5 (наружный проводник кабеля — к одной планке, внутренний — к другой).

Размеры зигзагообразной антенны на каналы 6—12 можно получить, разделив все размеры, указанные на рис. 41, на коэффициент 2,67.

Коэффициент усиления антенны относительно полуволнового вибратора 4,5 ... 5 дБ, КБВ 0,5 ... 0,7, диаграмма направленности — симметричная типа «восьмерки».

Для увеличения коэффициента усиления антенны на 2 ... 3 дБ нужно установить параллельно рамкам рефлектор, состоящий из ряда разнесенных по вертикали параллельных горизонтальных проводов. Для антенны на каналы 1—5 расстояние между проводами рефлектора не более 0,5 м, расстояние между рефлектором и рамками 1,05 м, общие размеры рефлектора 3,6 м по вертикали и 2,1 м по горизонтали. Для антенны на каналы 6—12 указанные размеры нужно разделить на коэффициент 2,67.

Вариант антенны типа «волновой канал» на каналы 21—41 дециметровых волн, состоящей из тринадцати вибраторов — активного петлевого вибратора, изготовленного из ленты, тройного рефлектора (в промышленных образцах в качестве рефлектора применяется также уголковый рефлектор) и одиннадцати директоров, показан на рис. 42. Симметрирование антенны может производиться либо с помощью U-колена, как показано на рис. 42, либо с помощью симметрирующей катушки (см. рис. 32, в).

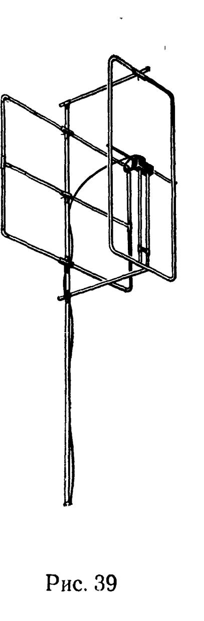
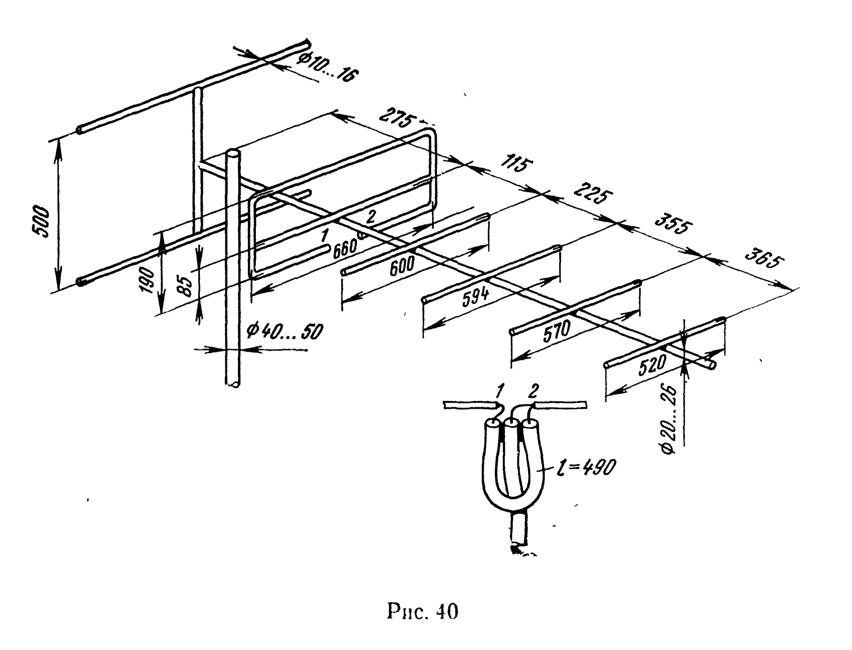


Рис. 39



Φ10...16
275
115
225
355
365
500
190
85
1
2
660
600
594
570
520
Φ40...50
Φ20...26
1
2
l=490

Рис. 40

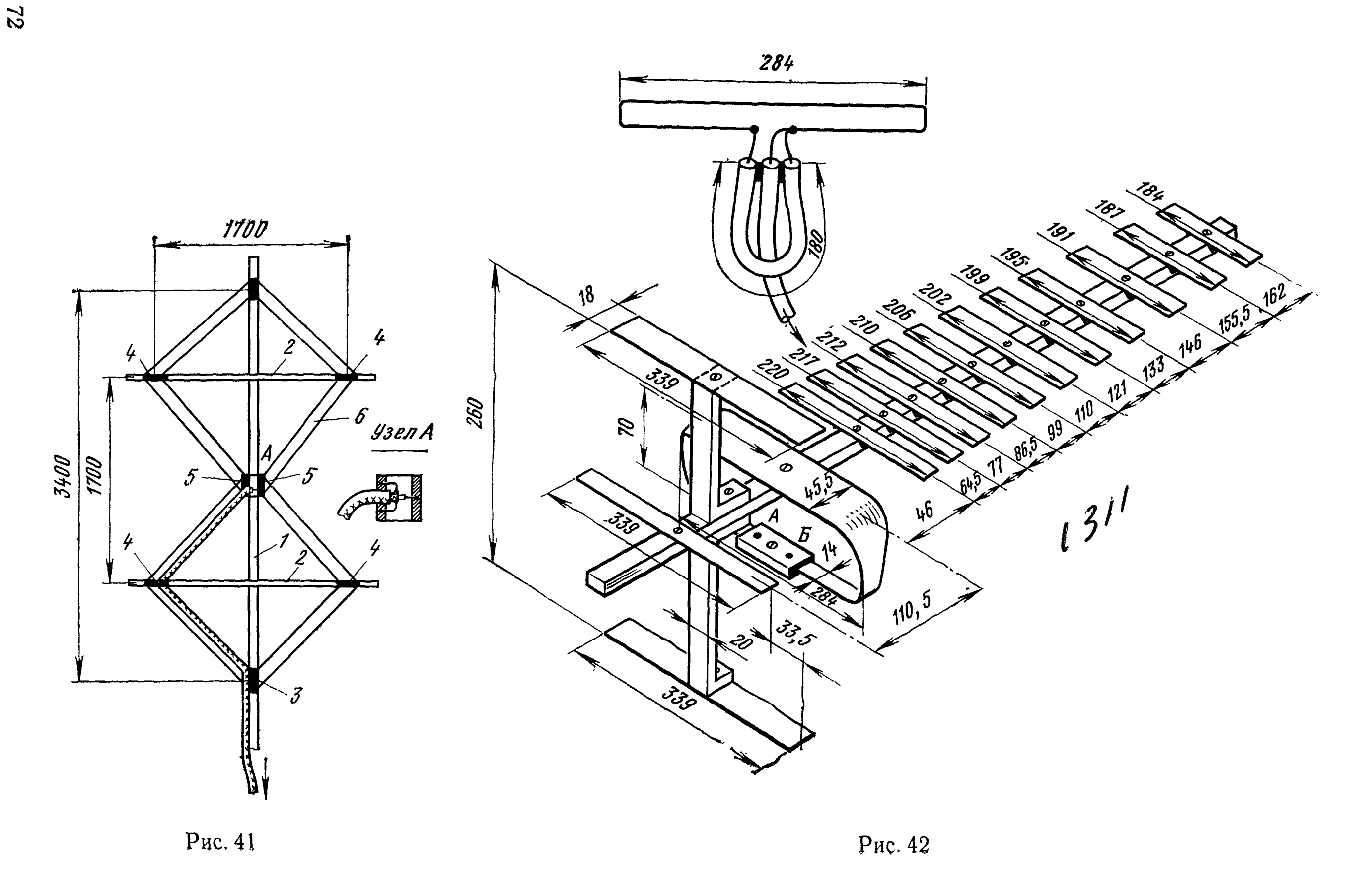

1700
3400
1700
1
2
3
4
5
6
А
Узел А
284
180
184
187
191
195
199
202
206
210
212
217
220
162
155,5
146
133
121
110
99
86,5
77
64,5
46
110,5
45,5
14
284
А
Б
33,5
20
339
339
339
70
18
260

Рис. 41

Рис. 42

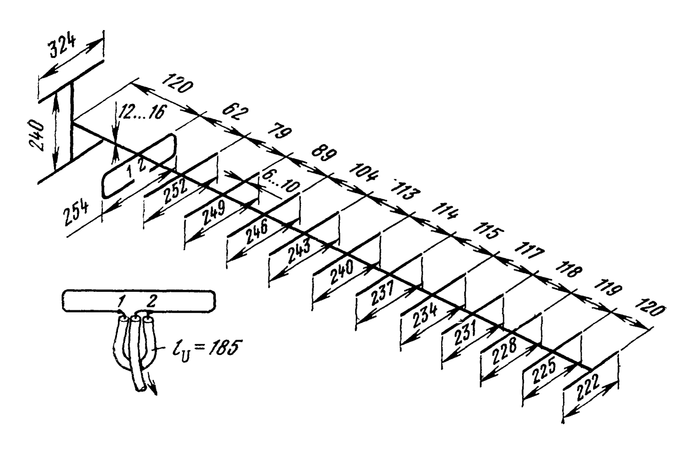


Рис. 43

Коэффициент усиления антенны относительно полуволнового вибратора около 10 ... 11 дБ, уровень задних и боковых лепестков 18 ... 24 дБ, КБВ 0,6 ... 0,8.

Отметим, что в этом варианте антенны верхняя часть ленточного петлевого вибратора значительно шире нижней, что необходимо для увеличения КБВ в кабеле снижения.

Антенна разработана под руководством В. К. Парамонова и А. А. Кукаева.

Другой вариант тринадцатиэлементной антенны на каналы 21—41 показан на рис. 43.

Логопериодическая антенна — широкополосная направленная антенна, обеспечивающая прием передач многопрограммных телецентров при любых сочетаниях каналов метровых и дециметровых волн. Рабочая полоса частот со стороны нижних частот ограничена размерами наибольшего вибратора антенны. Со стороны верхних частот рабочая полоса теоретически не ограничена. На практике ограничение рабочей полосы со стороны верхних частот связано с тем, что размеры коротких вибраторов становятся соизмеримыми с размерами поперечного сечения линии, к которым вибраторы подключены, что нарушает их нормальную работу. Практические конструкции логопериодических антенн обладают коэффициентом перекрытия (отношение верхней рабочей частоты к нижней), равным 15 ... 20.

В настоящее время существует большое число конструктивных разновидностей логопериодических антенн, отличающихся в основном формой вибраторов (линейные вибраторы, треугольные и трапециевидные вибраторы и т. д.) и конструкцией двухпроводной линии, к которой эти вибраторы подключены.

Один из простейших конструктивных вариантов логопериодической антенны показан на рис. 44 и 45. Основой антенны является антенное полотно так называемой логопериодической структуры, построенное из ряда параллельных линейных разрезных вибраторов, подключенных к двухпроводной линии с последовательной переменой фазы питания. Для удобства подключения половинок вибраторов проводники двухпроводной линии иногда разносят в вертикальной

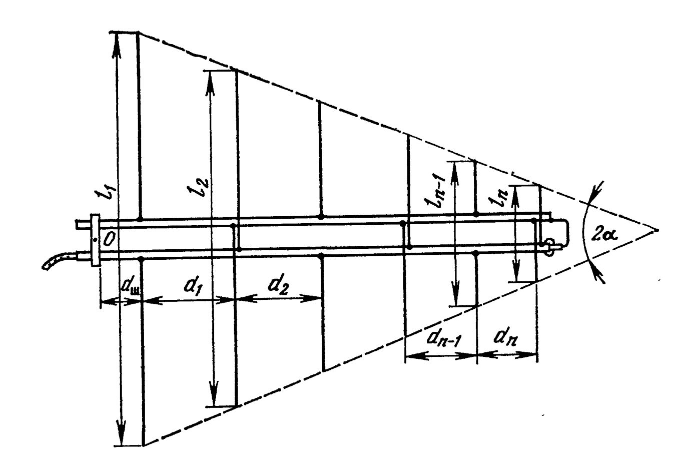


Рис. 44

Рис. 45

плоскости. Как видно из рис. 45, антенное полотно (рис. 45, а) состоит из двух полуполотен (рис. 45, б и в), развернутых друг относительно друга на 180°.

Структура антенного полотна характеризуется некоторыми геометрическими соотношениями. Длины вибраторов уменьшаются в геометрической прогрессии с определенным знаменателем в направлении к точкам подключения кабеля

снижения. Диаметры вибраторов также должны уменьшаться в геометрической прогрессии с тем же знаменателем. Однако на практике допустимо изготавливать все вибраторы из трубок одинакового диаметра.

Вибраторы логопериодической структуры вписываются в равнобедренный треугольник. Основанием треугольника служит наиболее длинный вибратор, размеры которого (с учетом коэффициента укорочения) должны быть несколько больше половины длины волны, соответствующей низшей рабочей частоте. Размеры наиболее короткого вибратора должны быть несколько меньше половины длины волны, соответствующей высшей рабочей частоте.

Электрические параметры антенны зависят от угла 2α при вершине треугольника, в который вписаны вибраторы, и от периода структуры τ (знаменатель прогрессии), равного отношению длин рядом расположенных вибраторов (более короткого к более длинному). Расстояния между вибраторами уменьшаются в направлении к точкам питания также в отношении, равном выбранному периоду структуры τ. Чем меньше угол 2α при вершине треугольника и чем ближе период структуры τ к единице, тем больше коэффициент усиления антенны и меньше уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Однако при уменьшении угла 2α и увеличении периода структуры τ возрастают габаритные размеры и масса антенны. Поэтому выбор угла 2α и периода структуры τ производится из условия компромисса между габаритными размерами и массой антенны, с одной стороны, и электрическими параметрами, с другой. Иначе говоря, величины 2α и τ, определяющие размеры и геометрическую структуру логопериодического полотна, выбирают таким образом, чтобы обеспечить достаточно большой коэффициент усиления и низкий уровень лепестков при приемлемых габаритных размерах и массе антенны. Обычно угол 2α выбирается в пределах 30 ... 60°, а период структуры $\tau = 0{,}7 \ldots 0{,}9$.

Важным параметром логопериодической антенны является параметр σ, называемый относительным расстоянием и равный отношению расстояния между любой парой вибраторов к длине большего из них. Параметр σ связан с периодом структуры τ и половиной угла при вершине структуры (угол α) соотношением

$$4\sigma = (1 - \tau) \operatorname{ctg} \alpha.$$

Рассмотрим принцип действия логопериодической антенны, изображенной на рис. 44, считая, что антенна работает в режиме передачи.

Если к точкам питания антенны подключить источник напряжения высокой частоты, то энергия будет распространяться по двухпроводной линии справа налево, т. е. от коротких вибраторов в сторону более длинных. В зависимости от частоты сигнала будет возбуждаться та или иная группа вибраторов, длина которых наиболее близка к резонансной. Другие вибраторы, расстроенные относительно частоты сигнала, возбуждаются слабо и в общее излучение антенны заметной доли не вносят. На верхнем краю рабочей полосы частот возбуждаются в основном короткие вибраторы, расположенные вблизи точек питания. По мере уменьшения частоты начинают возбуждаться более длинные вибраторы. На нижнем краю рабочей полосы частот возбуждаются наиболее длинные вибраторы. Таким образом, упрощенно можно считать, что логопериодическая

антенна состоит из ряда последовательно расположенных групп вибраторов, каждая из которых обеспечивает излучение в определенном интервале частот. Более длинные вибраторы каждой группы играют роль рефлекторов, а более короткие — директоров, в результате чего антенна приобретает направленные свойства. Поскольку на каждой частоте работают не все вибраторы логопериодической структуры, а только их часть, то антенна имеет меньший коэффициент усиления, чем, например, антенна типа «волновой канал» с тем же числом вибраторов.

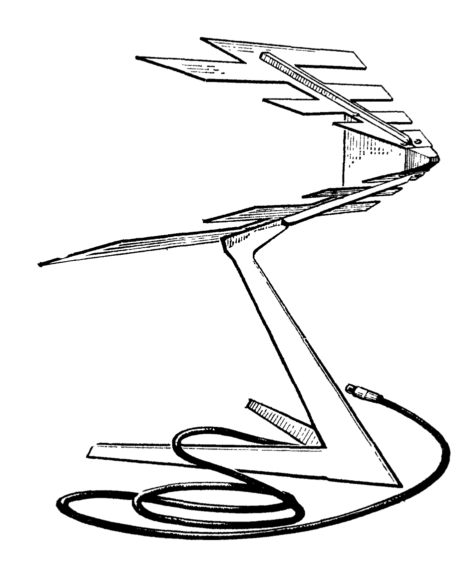
Можно ориентировочно считать, что логопериодическая антенна с числом вибраторов, равным 10—11, эквивалентна по коэффициенту усиления трех, четырехэлементной антенне типа «волновой канал». В то же время логопериодическая антенна работает в значительно более широкой полосе частот, чем антенна типа «волновой канал», что позволяет использовать ее для приема передачи многопрограммных телецентров.

Устройство логопериодической антенны показано на рис. 45. Двухпроводная линия и вибраторы изготавливаются из труб диаметром 12 ... 20 мм. Вместо труб для изготовления двухпроводной линии можно использовать также профили: уголки и швеллера. Расстояние между проводниками двухпроводной линии определяется расчетной величиной ее волнового сопротивления. Крепление вибраторов к двухпроводной линии может производиться либо скобами, либо сваркой. В качестве изоляторов, с помощью которых скрепляются трубки двухпроводной линии, а также крепится антенное полотно к мачте, могут быть использованы текстолит, стеклотекстолит, полистирол, капролон и т. д. Для обеспечения параллельности трубок двухпроводной линии необходимо установить вдоль линии несколько изоляторов. Параллельно первому (наиболее длинному) вибратору устанавливается короткозамкнутый мостик длиной $d_ш = (0{,}1 \ldots 0{,}15)\lambda$, что способствует некоторому улучшению КБВ. В принципе антенна может работать без этого мостика, однако его наличие позволяет оборудовать антенну системой молниезащиты, как рассказано далее (середина короткозамыкающей перемычки является точкой нулевого потенциала, к которой может быть подключен провод токоотвода). Кабель снижения протягивается через одну из трубок двухпроводной линии и припаивается к ее концам, как показано на рис. 45, а.

Для улучшения направленных свойств логопериодических антенн их часто выполняют в виде двух полуполотен, развернутых друг относительно друга на некоторый угол (обычно около 45°). Вариант комнатной антенны дециметрового диапазона, состоящей из двух развернутых полуполотен с вибраторами трапециедальной формы, показан на рис. 46.

Расчет логопериодической антенны. Исходными данными для расчета являются крайние частоты рабочего диапазона $f_{мин}$ и $f_{макс}$, а также требуемый коэффициент усиления относительно полуволнового вибратора. Расчет производится в следующем порядке.

1. Выбираем период структуры τ в пределах 0,8 ... 0,95 и по графику заданного коэффициента усиления К, дБ (рис. 47), определяем относительное расстояние σ. Если, например, задано К=7,8 дБ и выбрано τ=0,92, то σ=0,165. При отсутствии на рис. 47 кривой, соответствующей заданному коэффициенту



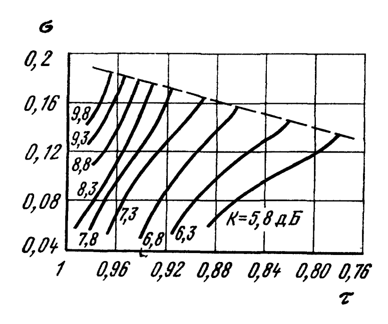


Рис. 47

Рис. 46

усиления, значение относительного расстояния можно определить, приняв в качестве коэффициента усиления ближайшее большее значение.

2. Определяем σ — половину угла при вершине антенны, предварительно вычислив tg σ по формуле tg $\alpha = (1-\tau)/4\sigma$.

3. Исходя из полученного значения угла α находим по графику, показанному на рис. 48, вспомогательный коэффициент B_1.

4. Определяем коэффициент перекрытия рабочего диапазона $m = f_{макс}/f_{мин}$.

5. Находим вспомогательный коэффициент $B_2 = mB_1$.

6. Определяем требуемое число вибраторов

$$N = 1 + \lg B_2 / \lg \frac{1}{\tau}.$$

7. Находим максимальную длину волны рабочего диапазона

$\lambda_{макс}$ [м] = $300/f_{мин}$, [МГц].

8. Определяем длины вибраторов: $l_1 = 0{,}55\lambda_{макс}$; $l_2 = l_1\tau$; $l_3 = l_2\tau$ и т. д.

9. Определяем расстояние между вибраторами: $d_1 = 2l_1\sigma$; $d_2 = d_1\tau$; $d_3 = d_2\tau$ и т. д.

10. Находим длину «среднего вибратора» $l_{ср} = (l_1 + l_n)/2$.

11. Определяем отношение $l_{ср}/d_в$, где $d_в$ — диаметр трубки, из которой изготавливаются вибраторы.

12. Рассчитываем приведенное относительное расстояние $\sigma' = \sigma\sqrt{\tau}$.

13. Находим длину короткозамкнутого шлейфа $d_ш = (0{,}1 \ldots 0{,}15)\lambda_{макс}$.

14. По графику, представленному на рис. 49, исходя из отношения $l_{ср}/d_в$ и значения σ' находим волновое сопротивление двухпроводной линии $z_в$ и расстояние между осями трубок A, пользуясь формулой $z_в = 276 \lg (2A/d_л)$, где $d_л$ — диаметр трубки, из которой изготавливается двухпроводная линия.

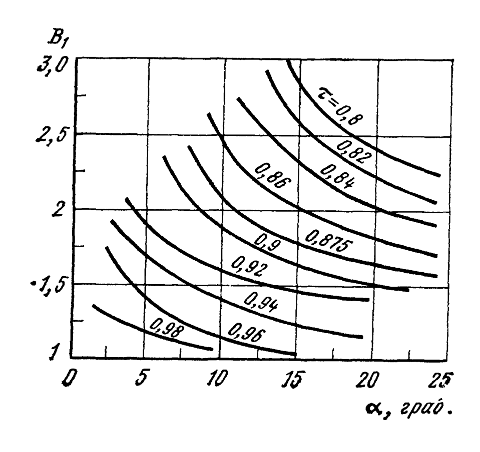


Рис. 48

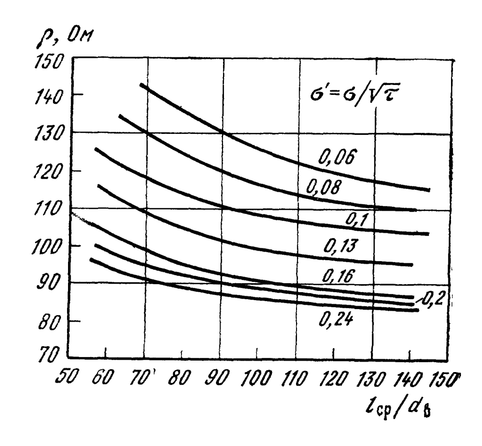


Рис. 49

В результате произведенного расчета может оказаться, что антенна имеет при заданном коэффициенте усиления чрезмерно большую длину или слишком большое число вибраторов. В этом случае расчет нужно повторять несколько раз при различных значениях τ, добиваясь требуемого компромисса между длиной антенны и числом вибраторов. Если достичь нужных результатов не удается, следует уменьшить расчетный коэффициент усиления или рабочий диапазон частот и повторить расчет.

Несколько важных замечаний, касающихся конструкций логопериодических антенн.

Если антенна предназначена для работы в очень широком диапазоне частот — в метровом и дециметровом диапазонах, то может оказаться, что длины коротких вибраторов будут соизмеримы с расстоянием между проводниками двухпроводной линии, что приведет к искажению диаграммы направленности антенны в области верхних частот. В таких случаях целесообразно выполнить двухпроводную линию в виде сходящейся линии с постоянным по длине волновым сопротивлением. Пример такой линии, предназначенной для логопериодической антенны метровых и дециметровых волн на каналы 1—41, показан на рис. 50. Каждый проводник линии представляет собой швеллер, согнутый из листового материала. Для удобства изготовления швеллер можно собрать из нескольких секций. Размеры логопериодической антенны с коэффициентом усиления около 7 дБ на каналы 1—41, вибраторы которой крепятся на описанной сходящейся линии, приведены на рис. 51. Вибраторы, помеченные буквой «В», крепятся к верхнему швеллеру, буквой «Н» — к нижнему. Кабель снижения может быть проложен и закреплен внутри одного из швеллеров.

Комбинированная диапазонная антенна (рис. 52) — широкополосная антенна, представляющая собой комбинацию петлевого вибратора на каналы 1—5 с логопериодической антенной на каналы 6—12. Антенна имеет относительно

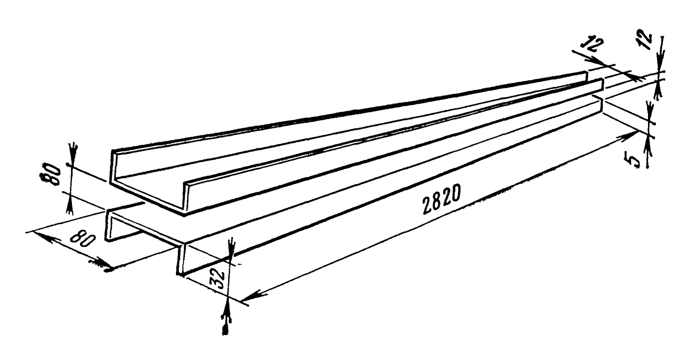


Рис. 50

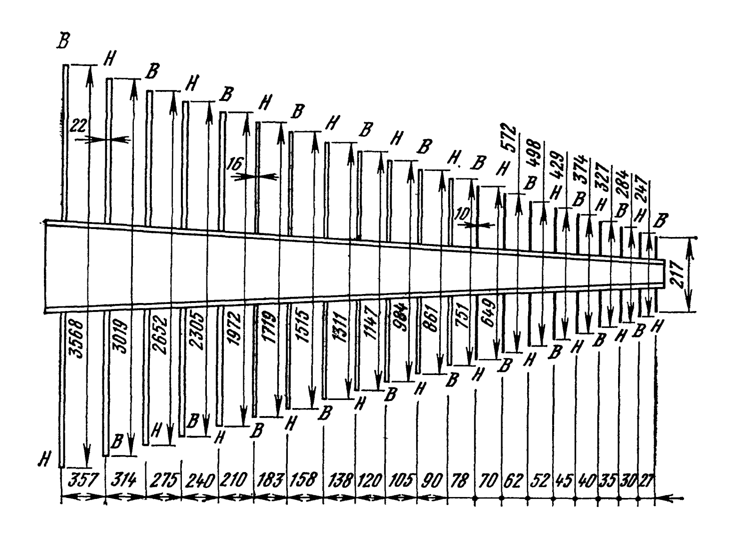


Рис. 51

небольшие габаритные размеры, однако на каналах 1—5 ее коэффициент усиления меньше, чем у обычной логопериодической антенны того же диапазона.

Принцип действия антенны состоит в том, что для приема передач на каналах 1—5 используется петлевой вибратор, а на каналах 6—12 — логопериодическое полотно. При этом двухпроводная линия логопериодического полотна служит линией питания петлевого вибратора, что позволяет объединить петлевой вибратор с логопериодическим полотном в единую конструкцию с общим кабелем снижения и обеспечить удовлетворительный прием на каналах 1—12.

Как видно из рис. 52, а антенна состоит из петлевого вибратора 1, двухпроводной линии 2, вибраторов логопериодического полотна 3, кабеля снижения 4. Кабель проходит внутри одной из половин петлевого вибратора (левой

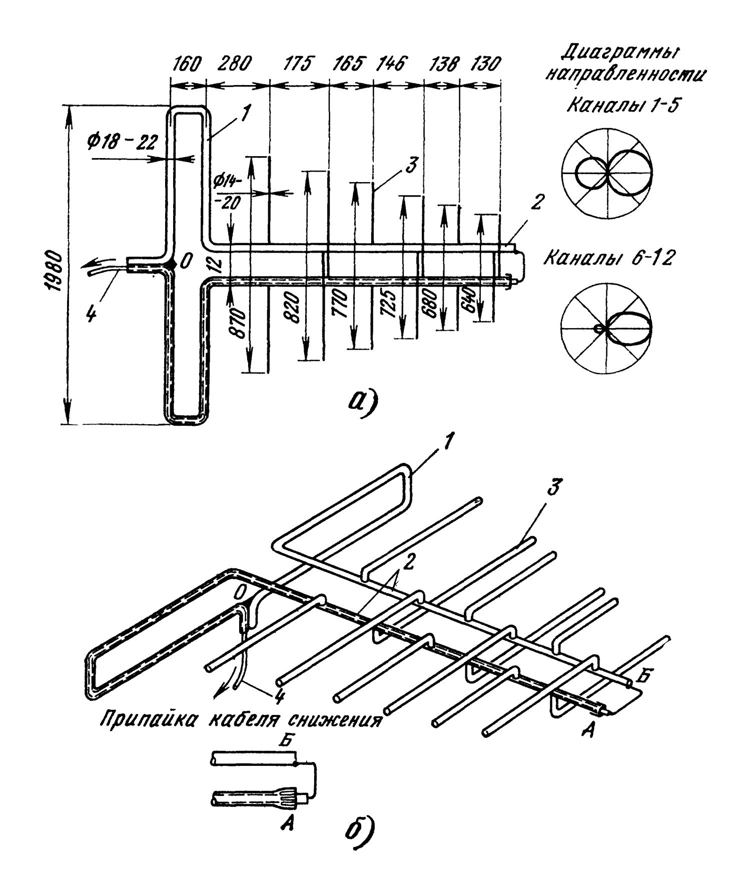


Рис. 52

или правой), далее внутри одной из трубок двухпроводной линии и припаивается к концам трубок, как показано на рис. 52, б. Петлевой вибратор настроен на среднюю частоту каналов 1—5 ($f_{ср}=75$ МГц), логопериодическое полотно — на каналы 6—12 (диапазон частот 174 ... 230 МГц).

Антенна работает следующим образом. Сигнал, поступающий по кабелю снижения (работа антенны рассматривается в режиме передачи), возбуждает в точках подключения кабеля двухпроводную линию, и волна напряжения, распространяющаяся по линии, последовательно возбуждает вибраторы логопериодического полотна. В результате этого на каналах 6—12 формируется однонаправленная диаграмма с малым уровнем задних и боковых лепестков. При этом петлевой вибратор, настроенный на среднюю частоту каналов 1—5, играет на каналах 6—12 роль своеобразного рефлектора, способствующего уменьшению на этих каналах уровня задних и боковых лепестков. На каналах 1—5 размеры вибраторов логопериодического полотна значительно меньше поло-

вины длины волны. Они имеют высокое входное сопротивление емкостного характера и двухпроводную линию практически не шунтируют. Волна напряжения, распространяющаяся по линии, достигает зажимов петлевого вибратора и возбуждает его. В результате этого антенна имеет на каналах 1—5 диаграмму типа «восьмерки» с некоторым преобладанием одного из лепестков из-за того, что вибраторы логопериодического полотна в некоторой мере играют на этих каналах роль директоров. Симметрирование антенны обеспечивается тем, что кабель снижения вводится в средней точке петлевого вибратора, являющейся точкой нулевого потенциала.

Петлевой вибратор с двухпроводной линией удобно изготовить из двух половин, как показано на рис. 52, б. Расстояние между трубками фиксируется с помощью изоляторов. Крепление мачты к антенне может производиться либо с помощью изолятора, либо без изолятора в точке нулевого потенциала.

Коэффициент усиления антенны на каналах 6—12 составляет 5...6 дБ, на каналах 1—5 0,5 дБ.

Антенна, работающая на описанном принципе, может быть использована при других сочетаниях принимаемых каналов, например на каналы 1—5 и 6—41, на каналы 6—12 и 21—41 и т. д.

Подключение антенн к телевизионным приемникам

Современные телевизионные приемники имеют, как правило, раздельные входы для метровых (каналы 1—12) и дециметровых (каналы 21—41) волн. Поэтому, когда используется диапазонная или многоканальная антенна, общая для метровых и дециметровых волн, на конце кабеля снижения (непосредственно около приемника) нужно установить разделительный фильтр. Схема простейшего фильтра приведена на рис. 53. Емкости конденсаторов составляют C1 — 2,7 пФ, C2 — 2,2 пФ, C3 — 9,1 пФ. Индуктивность катушек L1 и L3 — 0,03 мкГн (диаметр каркаса 4 мм, 2 витка, провод ПЭТВ 0,47, намотка рядовая), катушки L2 — 0,056 мкГн (диаметр каркаса 4 мм, 3 витка, провод ПЭТВ 0,47, намотка рядовая).

При использовании раздельных антенн на каналы 1—5 (в любом сочетании каналов, в том числе одноканальных антенн) и 6—12 (также в любом сочетании) к общему для этих каналов входу телевизионного приемника (вход МВ) можно воспользоваться фильтром сложения, схема которого приведена на рис. 54. Фильтр можно установить либо около телевизионного приемника, проложив к приемнику два кабеля снижения, либо непосредственно на антенне. Установка раздельных антенн на общей мачте показана на рис. 55.

ГЛАВА 7.
ОСТРОНАПРАВЛЕННЫЕ СИНФАЗНЫЕ АНТЕННЫ

Для приема телевизионных передач на больших расстояниях от телевизионных центров и ретрансляторов в зоне слабого и неустойчивого сигнала используются остронаправленные синфазные антенны, представляющие собой

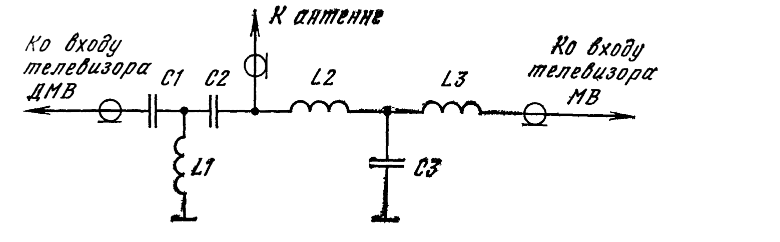


Рис. 53

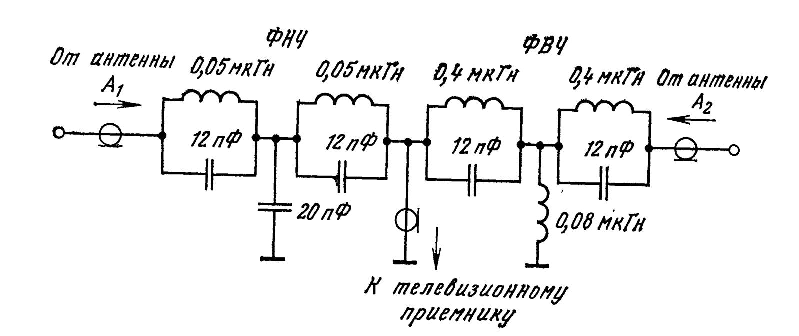


Рис. 54

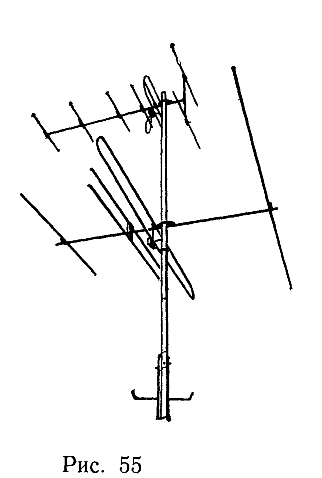


Рис. 55

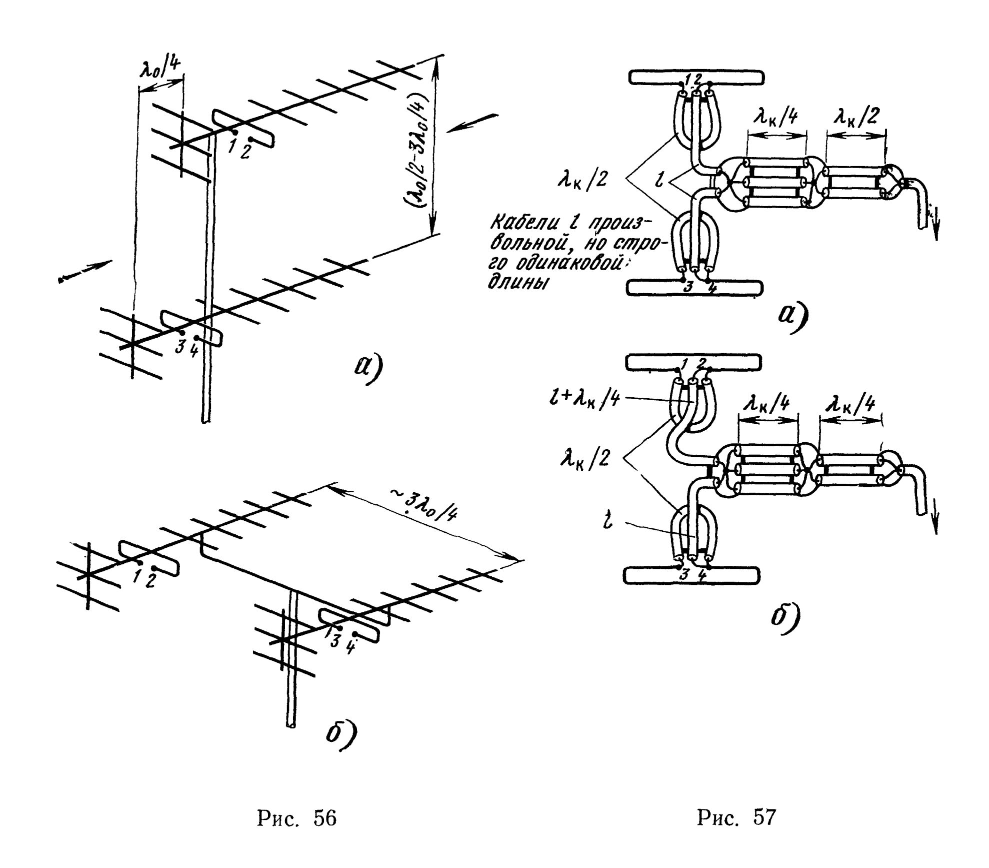


Рис. 56 Рис. 57

комбинацию нескольких параллельно включенных антенн (антенных полотен), разнесенных по горизонтали и вертикали. Расположение антенных полотен двухэтажной антенны показано на рис. 56, а, двухрядной антенны — на рис. 56, б. Разнос между полотнами принимается обычно в пределах от λ/2 до 3λ/4, где λ — средняя частота рабочего канала, группы каналов или диапазона. При увеличении разноса по вертикали уменьшается ширина диаграммы направленности в вертикальной плоскости, возрастает коэффициент усиления, но в то же время увеличивается число и уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности. Аналогично при увеличении разноса между полотнами по горизонтали уменьшается ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости и, как в случае вертикального разноса, возрастает коэффициент усиления и увеличивается число задних и боковых лепестков.

Схема кабельных соединений двухэтажной и двухрядной антенн, в которых используются антенные полотна «волновой канал», показана на рис. 57, а, схема кабельных соединений духэтажной двухрядной антенны из четырех полотен — на рис. 58.

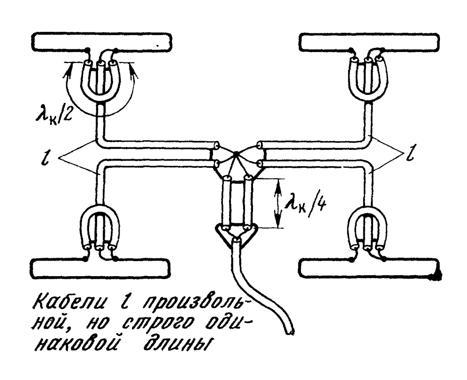


Рис. 58

Рис 59

Рис. 60

Применением несложных мер можно повысить помехозащищенность синфазной антенны, т. е. снизить уровень задних и боковых лепестков диаграммы направленности.

Рассмотрим принцип действия синфазной антенны с повышенной помехозащищенностью на примере двухэтажной антенны, показанной на рис. 56, а. Как видно из рисунка, верхний этаж антенны сдвинут по отношению к нижнему в направлении на телецентр на четверть длины волны, соответствующей средней частоте принимаемого канала, а в схеме междуэтажных соединений (рис. 57, б) длина кабеля питания верхнего этажа больше длины кабеля питания нижнего этажа на четверть длины волны в кабеле. Антенна работает следующим образом. Сигнал, принятый верхним этажом со стороны главного лепестка диаграммы направленности (сплошная стрелка на рис. 56, а), опережает по фазе на 90° сигнал, принятый с того же направления нижним этажом. Это опережение по фазе компенсируется запаздыванием по фазе на 90° в кабеле питания верхнего этажа, который длиннее кабеля питания нижнего этажа на четверть длины волны в кабеле. В результате этого сигналы, принимаемые обоими этажами, складываются синфазно в точке параллельного соединения этих кабелей. В то же время сигнал, принятый верхним этажом со стороны рефлектора (штриховая стрелка на рис. 56, а), отстает по фазе на 90° по отношению к сигналу, принятому нижним этажом. В кабеле питания сигнал, принятый верхним этажом, дополнительно запаздывает по фазе на 90°, в результате чего сигналы, принятые обоими этажами со стороны рефлектора, складываются в противофазе в точке параллельного соединения этих кабелей.

Противофазное сложение сигналов, принятых этажами антенны со стороны рефлектора, приводит к существенному уменьшению уровня задних и боковых лепестков диаграммы направленности антенны и соответственно к повышению ее помехозащищенности. Практически задние и боковые лепестки описанной антенны меньше задних и боковых лепестков одиночной антенны типа «волновой канал» или простой двухэтажной синфазной антенны (без сдвига этажей) на 8 ... 10 дБ. Дополнительным преимуществом синфазной антенны со сдвигом этажей является высокий коэффициент бегущей волны, который составляет 0,7 ... 0,8. Столь высокий коэффициент бегущей волны достигается разностью длин кабелей питания этажей (кабели 1 и $1+\lambda_к/4$), равной $\lambda_к/4$; реактивные составляющие проводимости в точке параллельного соединения кабелей имеют противоположные знаки и взаимно компенсируются.

Коэффициент усиления, дБ, синфазной антенны можно приближенно определить по формуле

$$K=K_0+10\lg n,$$

где K_0 — коэффициент усиления одного полотна, дБ; n — число полотен.

Внешний вид двухэтажной двухрядной антенны дециметрового диапазона горизонтальной поляризации показан на рис. 59. На рис. 60 показан вариант двухэтажной антенны на 6—12 каналов с общим рефлектором для обоих этажей.

ГЛАВА 8.

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Измерение параметров телевизионных антенн должно производиться на испытательной площадке, оборудованной приспособлениями и приборами, позволяющими определять основные параметры антенны: коэффициент усиления, характеристику направленности, ширину главного лепестка характеристики направленности, уровень задних и боковых лепестков (помехозащищенность), коэффициент стоячей волны (КСВ).

Оборудование испытательной площадки

Требования к испытательной полщадке. Настройка антенн и измерение их параметров проводятся на ровной грунтовой площадке длиной не менее 30 ... 40 м и шириной не менее 15 ... 20 м. Трава на площадке должна быть скошена. На площадке а также вокруг нее на расстоянии до 40 ... 50 м не должно быть местных отражающих предметов, искажающих результаты измерений, а именно: высоких кустарников, деревьев, столбов, кранов, автомашин, строений, линий электропередач, металлолома и т. д. При выборе места для испытательной площадки нужно иметь в виду, что уровень радиопомех в районе расположения площадки должен быть минимально возможным. Поэтому необходимо размещать ее на возможно большем расстоянии от возможных источников помех — передающих радиоцентров, промышленных предприятий, высоковольтных линий электропередач, шссейных дорог и магистралей с интенсивным движением автотранспорта. Следует также учитывать, что при измерениях возможны кратковременные сбои, связанные с отражениями сигналов от самолетов и вертолетов.

Состав и размещение оборудования. Примерный план размещения оборудования на испытательной плоцадке показан на рис. 61. На одном конце площадки располагается вспомогательная передающая антенна А1, подключаемая к генератору сигналов и предназначенная для облучения испытуемой антенны, на другом конце — испытуемая антенна А2, подключаемая к измерительному приемнику со стрелочным индикатором уровня сигнала. Вспомога-

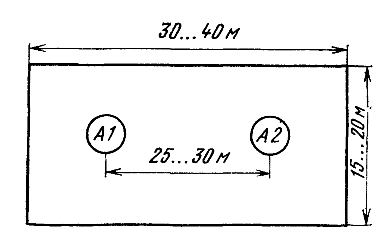


Рис. 61

тельная передающая антенна крепится с помощью несложного приспособления — трубостойки, испытуемая антенна устанавливается на подъемно-поворотном устройстве, которое служит для подъема антенны и ее поворота вокруг вертикальной оси в процессе измерений. Варианты конструкций трубостойки и подъемно-поворотного устройства описаны далее.

При выборе высоты установки испытуемой антенны следует учитывать, что токи, наведенные антенной в земле, изменяют входное сопротивление антенны. Влиянием земли на входное сопротивление антенны можно практически пренебречь, если высота установки антенны превышает 0,7 ... 0,8 длин волн. Поэтому для всех диапазонов метровых и дециметровых волн высоту установки испытуемой антенны можно принять равной 5 ... 6 м. Существенное значение для получения достаточно точных результатов измерений параметров антенн, особенно коэффициента усиления, имеет высота установки вспомогательной передающей антенны. Вопросы, связанные с выбором высоты установки этой антенны, рассмотрены при описании методики измерения коэффициента усиления.

В качестве вспомогательной передающей антенны используется направленная антенна с возможно меньшим уровнем задних и боковых лепестков, соответствующая испытуемой антенне по поляризации и рабочему диапазону частот.

Измерительные приборы размещаются под навесом или в небольших домиках с неметаллической кровлей. Кабель электропитания желательно уложить в траншею глубиной 0,5 м и засыпать.

Выбор расстояния между испытуемой и вспомогательной передающей антеннами определяется следующими соображениями. Параметры антенны можно измерить с достаточной степенью точности, если антенна облучается при измерениях плоской волной, т. е. волной, у которой поверхность равных фаз представляет собой плоскость, перпендикулярную направлению распространения волны. Вспомогательная передающая антенна излучает сферическую волну, поэтому расстояние между вспомогательной и испытуемой приемной антеннами должно быть таким, чтобы в пределах зоны с поперечными размерами, не меньшими, чем максимальный размер антенны, участок фронта сферической волны был близок к плоской волне. Отклонение фазы в зоне расположения испытуемой антенны в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны, не должно превышать $\pi/8$ радиан. Для этого нужно, чтобы расстояние между антеннами было не меньше чем $2(w_1^2 + w_2^2)/\lambda$, где w_1 и w_2 — наибольшие поперечные габаритные размеры соответственно вспомогательной передающй и испытуемой антенн. Расчеты по этой формуле для направленных антенн метровых и дециметровых волн средней и большой сложности дают значение расстояния между антеннами около 25 ... 30 м.

Правила электробезопасности. Работая на испытательной площадке, необходимо соблюдать все указания действующих правил электробезопасности в части особо опасных помещений. Необходимо пользоваться электроинструментом (электропаяльник, электродрель и т д.) на 36 В, включая его в сеть через понижающий трансформатор. Измерительные приборы должны быть заземлены. В качестве заземлителя можно использовать стальную оцинкованную трубу, забитую в грунт на глубину 1 ... 1,5 м, а в качестве токоотвода — провод

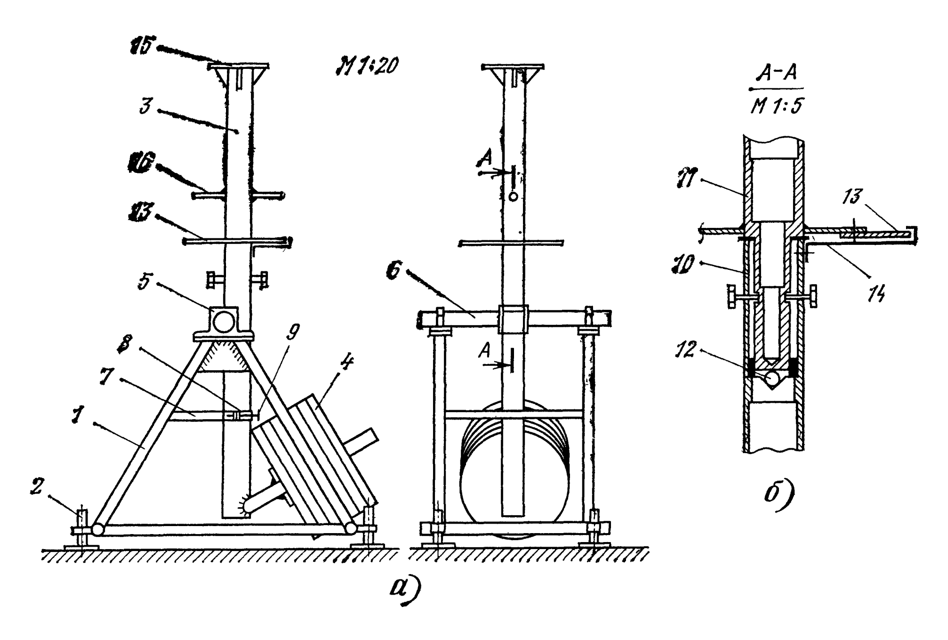


Рис. 62

или шину сечением 5 ... 6 мм². Место подключения токоотвода к заземлителю нужно закрасить.

Подъемно-поворотное устройство. Конструкция простого и удобного в эксплуатации подъемно-поворотного устройства, позволяющего без существенных физических усилий поднять приемную антенну массой до 70 ... 80 кг на высоту 6 ... 7 м и осуществить ее поворот вокруг вертикальной оси для измерения характеристики направленности и других параметров, показана на рис. 62 Устройство состоит из основания 1, установленного на четырех опорах 2 регулируемой высоты, наклоняемого вала 3 и противовеса 4. Основание сварено из стальных или алюминиевых труб диаметром 30 ... 40 мм. В верхней части основания с помощью накладок 5 неподвижно закреплена горизонтальная ось 6 из трубы диаметром 50 ... 60 мм. В середине горизонтальной оси 6 установлена на скользящей посадке втулка, к которой приварен наклоняемый вал 3. В исходном (вертикальном) положении наклоняемый вал 3 фиксируется с помощью хомута 7 с откидной скобой 8 и стопора 9. Наклоняемый вал 3, как видно из рис. 62, б, состоит из двух колен 10 и 11, при этом верхнее колено 11, опирающееся на стальной шарик 12 диаметром 10 ... 12 мм, может свободно вращаться относительно нижнего колена 10 вокруг вертикальной оси. На верхнем колене установлен лимб 13 с делениями от 0 до 360° через 5°, а на нижнем колене — указатель 14 угла поворота антенны. В нижней части наклоняемого вала 3 на отрезок трубы, приведенной к валу, надет противовес, представляющий собой набор стальных дисков массой 10 ... 12 каждый. Верхний конец вала оканчи-

вается фланцем 15, который служит для соединения подъемно-поворотного устройства с испытуемой антенной.

Перед установкой испытуемой антенны диски противовеса нужно снять и установить наклоняемый вал 3 в горизонтальное положение, после чего соединить болтами нижний фланец мачты антенны с фланцем 15 наклоняемого вала. Далее следует произвести балансировку наклоняемого вала, установив на отрезок трубы такое число дисков противовеса, при котором вал будет уравновешен. Балансировку вала лучше всего производить в промежуточном (наклонном) положении вала при угле между валом и поверхностью земли 30 ... 45°. После балансировки наклоняемый вал с антенной устанавливается в вертикальное положение и фиксируется откидной скобой 8 и стопором 9. Поворачивая с помощью рукоятки 16 верхнее колено 11 вала, можно установить испытуемую антенну в любое требуемое угловое положение. Подъем и опускание установленной антенны может далее производиться многократно без заметных физических усилий. При работе с подъемно-поворотным устройством следует надежно закреплять диски противовеса во избежание их падения и связанных с этим травм.

Наклоняемый вал в поднятом (рабочем) положении должен иметь возможно меньшее отклонение от вертикали. Поэтому окончательную установку подъемно-поворотного устройства нужно производить, пользуясь уровнем или отвесом.

Трубостойка. Один из вариантов конструкции трубостойки, предназначенной для крепления вспомогательной передающей антенны без помощи растяжек, показан на рис. 63 и 64. Трубостойка состоит из опорной стальной плиты 1 размером 500×500 мм толщиной 8 ... 10 мм и приваренной к ней стальной трубы 2 диаметром 70 ... 80 мм. Для повышения прочности трубостойки к основанию и трубе приварены ребра жесткости в виде косынок 3. На трубе в ее верхней части установлен кронштейн 4, с помощью которого крепится мачта вспомогательной антенны. У основания трубы 2 между косынками на оси установлен откидной стакан 5, в который вставляется нижний конец мачты вспомогательной антенны. Ось стакана 5 фиксируется шлинтами 6. В средней части трубы 2 приварен крючок 7, на который одевается кольцо, имеющееся на мачте вспомогательной передающей антенны, с целью оперативной фиксации положения мачты после подъема антенны. Крепление мачты вспомогательной передающей антенны к трубостойке производится в следующем порядке. Нижний конец мачты вставляется в откидной стакан трубостойки и жестко фиксируется имеющимися в стакане тремя стопорными болтами (рис. 64, а), расположенными под углом 120°. Далее производится подъем мачты в вертикальное положение (рис. 64, б). При этом мачта попадает в посадочную скобу 8, приваренную к кронштейну 4. В этот момент необходимо, придерживая мачту в вертикальном положении, надеть предохранительное кольцо, имеющееся на мачте, на крючок 7. Тем самым положение мачты будет зафиксировано и можно окончательно закрепить ее на трубостойке с помощью хомута 9. В дальнейшем снимать предохранительное кольцо с крючка 7 не следует, так как при необходимости опустить антенну кольцо предохранит ее от случайного падения после снятия хомута 9. Трубостойку для устойчивости нужно установить на kресто-

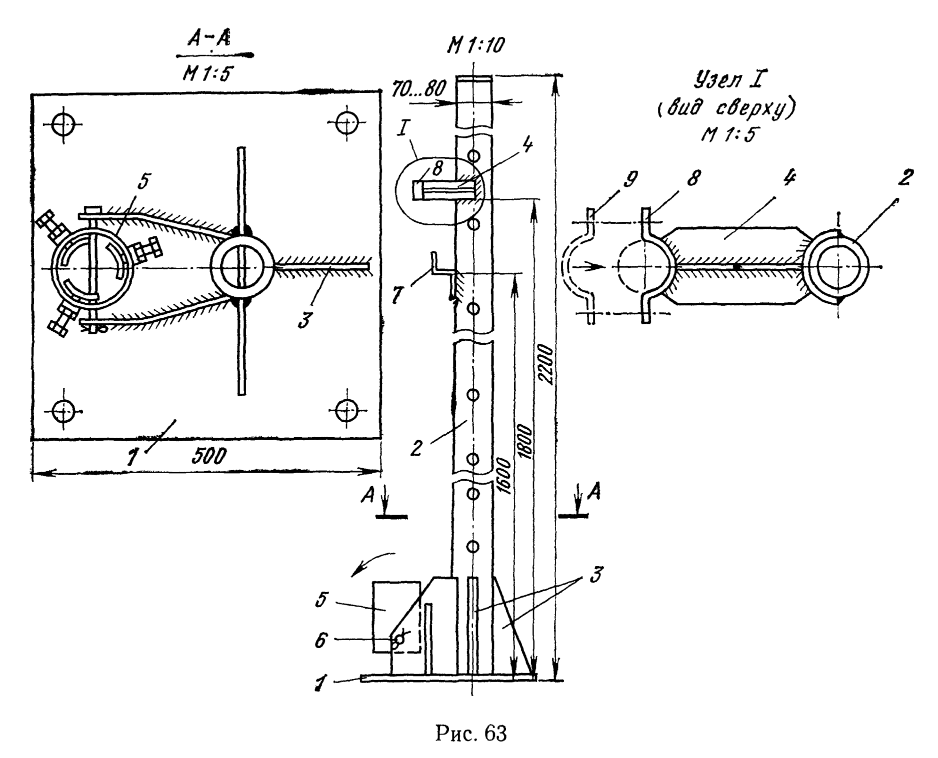


Рис. 63

вину, изготовленную из двух шпал или бревен длиной около 3 м. Крепление опорной плиты 1 к крестовине производится болтами с гайками. Концы крестовины следует притянуть к земле с помощью кольев из металлического уголка.

Измерение коэффициента усиления

Коэффициент усиления антенны определяется сравнением уровня сигнала на ее выходе с уровнем сигнала на выходе некоторой эталонной антенны, расположенной в том же месте, что и данная антенна при условии, что максимумы основных лепестков диаграмм направленности обеих антенн ориентированы в сторону излучающей антенны. Обычно в качестве эталонной антенны используется полуволновый вибратор. В этом случае при измерениях будет непосредственно определено значение коэффициента усиления относительно полуволнового вибратора, которое приводится обычно в справочной литературе. В принципе, в качестве эталонной антенны можно использовать любую другую антенну, важно лишь знать коэффициент усиления этой антенны относительно полуволнового вибратора, что позволит путем пересчета определить требуемое справочное значение коэффициента усиления.

Применение направленных эталонных антенн с известным коэффициентом усиления вместо полуволнового вибратора целесообразно в тех случаях, когда

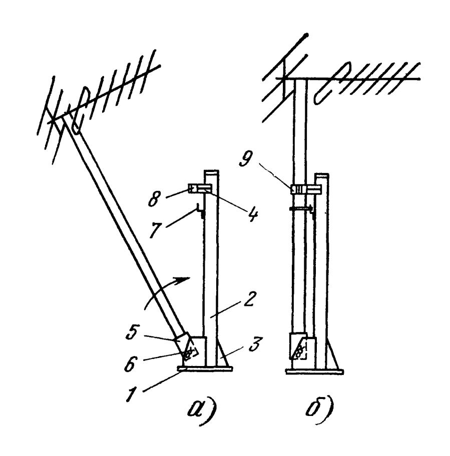


Рис. 64

Рис. 65

Рис. 66

Рис. 67

Рис. 68

испытуемая антенна является остронаправленной с коэффициентом усиления относительно полуволнового вибратора более 14...16 дБ. Это позволит увеличить точность определения коэффициента усиления. В дециметровом диапазоне волн, например, в качестве эталонной антенны иногда используется рупорная антенна с прямоугольным раскрывом, коэффициент усиления которой может быть с достаточной точностью рассчитан исходя из размеров раскрыва рупора.

Экспериментальное определение коэффициента усиления антенн метровых и дециметровых волн является одним из наиболее сложных видов антенных измерений. Это связано прежде всего с тем что в место установки испытуемой и эталонной антенн приходит не только основная волна от вспомогательной передающей антенны, но и волны, отраженные от земли. Диаграммы направленности испытуемой и эталонной антенн в вертикальной плоскости, как правило, различны, поэтому различна и «чувствительность» этих антенн к отраженным волнам, в результате чего нарушается действительное соотношение между уровнями сигналов на выходах антенн и возникает ошибка в значении коэффициента усиления.

Интерференция прямой и отраженных волн на испытательной площадке приводит к высотному распределению поля в области расположения испытуемой антенны. Степень неравномерности этого распределения позволяет судить об уровне отраженных от земли волн. По имеющимся данным влиянием отраженных волн при измерении коэффициента усиления можно практически пренебречь, если в области расположения испытуемой антенны неравномерность высотного распределения поля не превышает 1 дБ.

Существует несколько различных способов снижения уровня отраженных волн.

Применение остронаправленной вспомогательной передающей антенны с диаграммой направленности, сжатой в вертикальной плоскости (рис. 65). Антенна выполняется в виде решетки из нескольких синфазных антенных полотен, разнесенных в вертикальной плоскости. Эти антенны по схемам и конструкциям аналогичны остронаправленным синфазным антеннам, применяемым в сложных условиях приема и описанным в гл. 7.

Такой способ снижения уровня отраженных волн на испытательной площадке весьма эффективен, однако он требует изготовления сложной по конструкции вспомогательной передающей антенны и некоторого увеличения расстояния между испытуемой и вспомогательной антеннами (до 35...40 м).

Подбор высоты установки вспомогательной передающей антенны (рис. 66). Высота установки h_1 выбирается так, чтобы направление отраженного от земли луча, пришедшего в точку установки испытуемой антенны А2, исходил из области первого «нуля» вертикальной диаграммы направленности вспомогательной передающей антенны А1. В случае вертикально-поляризованной типа «волновой канал» угол в вертикальной плоскости между максимумом диаграммы и первым «нулем» составляет: для трехэлементной антенны — около 40°, для пятиэлементной — около 30°, для семиэлементной — около 25°. Более точно направления нулей диаграммы можно определить, измерив характеристику направленности в соответствующей плоскости. У горизонтально-поляризованной вспомога-

тельной передающей антенны нулевое направление в вертикальной плоскости отсутствует и появляется только в случае построения этой антенны из двух или нескольких вертикально разнесенных антенн. Для двухэтажной вспомогательной передающей антенны угол в вертикальной плоскости между максимумом диаграммы и первым нулем определяется соотношением (см. рис. 66).

$$\sin\alpha=\lambda/2d,$$

где λ — длина волны; d — разнос между этажами по вертикали.

Рассеяние отраженных волн. Японскими стандартами рекомендуется методы уменьшения уровня отраженной волны на испытательных площадках благодаря ее рассеянию на клиновидных препятствиях. Один из вариантов показан на рис. 67. Вспомогательная передающая и испытуемая антенны устанавливаются на двух рядом стоящих металлических сооружениях. Отраженная волна дважды рассеивается на клиновидных препятствиях, и амплитуда ее в месте установки испытуемой антенны существенно уменьшается.

Неравномерность высотного распределения поля в месте установки испытуемой антенны может быть определена с помощью подключенного к приемнику полуволнового вибратора с изменяемой высотой установки как разность между максимальным и минимальным значениями поля, измеренными выше и ниже геометрического центра испытуемой антенны. Если неравномерность не превышает 1 ... 1,5 дБ, то измерение коэффициента усиления может быть произведено следующим образом.

1. Собрать схему рис. 68, а, для чего закрепить на трубостойке вспомогательную передающую антенну А1 соответствующего канала или диапазона и подключить ее к генератору сигналов Г, установить на подъемно-поворотном устройстве испытуемую антенну А2, подключить ее к приемнику П со стрелочным индикатором. В качестве генератора сигналов может быть использован любой генератор промышленного производства соответствующего диапазона частот.

2. Произвести ориентирование антенн А1 и А2 таким образом, чтобы максимумы их диаграмм направленности были направлены друг на друга.

3. Повернуть антенну А2 на угол 20 ... 30° влево и вправо от исходного положения, уточнить направление максимума диаграммы, записать уровень сигнала U_1.

4. Собрать схему рис. 68, б, для чего заменить антенну А2 эталонной антенной ЭА, установив ее в месте, соответствующем геометрическому центру антенны А2.

5. Повернуть антенну ЭА так, чтобы максимум ее диаграммы был направлен на антенну А1, записать уровень сигнала U_2.

6. Определить коэффициент усиления по напряжению («по полю»):

а) при использовании в качестве эталонной антенны полуволнового вибратора

$$K_U=U_1/U_2;$$

б) при использовании в качестве эталонной антенны направленной антенны с коэффициентом усиления $K_э$ относительно полуволнового вибратора

$$K_U=U_1K_э/U_2.$$

7. Коэффициент усиления, дБ,

$$K=20\lg K_U.$$

Рекомендуемые размеры полуволновых петлевых вибраторов, используемых в качестве эталонных антенн, приведены на рис. 26—29, кабель снижения подключается через полуволновое U-колено в соответствии с рис. 32, а. Марка и длина кабелей снижения испытуемой и эталонной антенн должны быть одинаковыми.

Когда неравномерность высотного распределения поля в месте установки испытуемой антенны превышает 1 ... 1,5 дБ, следует применять метод усреднения поля по высоте. Этот метод требует плавного изменения высоты установки испытуемой и эталонной антенн в процессе измерений, в связи с чем усложняется конструкция приемного оборудования. Для изменения высоты установки антенн может быть применена телескопическая (раздвижная) мачта. После установки и подключения испытуемой и вспомогательной передающей антенн производится их взаимное ориентирование, а затем, поднимая и опуская испытуемую антенну относительно ее среднего положения, записывают соседние по высоте максимальное и минимальное значения сигнала $U_{1\,макс}$ и $U_{1\,мин}$ и определяют его среднее значение

$$U_{1\,ср}=(U_{1\,макс}+U_{1\,мин})/2.$$

Далее заменяют испытуемую антенну эталонной, устанавливают ее в точку, соответствующую геометрическому центру испытуемой антенны, после чего, поднимая и опуская эталонную антенну, записывают соседние по высоте максимальное ии минимальное значения сигналов $U_{2\,макс}$ и $U_{2\,мин}$ и определяют его среднее значение

$$U_{2\,ср}=(U_{2\,макс}+U_{2\,мин})/2.$$

Коэффициент усиления по напряжению («по полю») определяется по тем же формулам, что и ранее, с заменой U_1 на $U_{1\,ср}$ и U_2 на $U_{2\,ср}$. Отметим, что чем больше неравномерность высотного распределения поля, тем больше ошибка в определении коэффициента усиления.

Измерение характеристики направленности

Для измерения характеристики направленности необходимо произвести взаимное ориентирование испытуемой и вспомогательной передающей антенн таким же образом, как и при измерении коэффициента усиления. Далее испытуемую антенну нужно повернуть на 20 ... 30° влево и вправо от исходного положения, уточнить направление максимума главного лепестка характеристики направленности и записать уровень сигнала, соответствующий этому направлению. Затем, поворачивая антенну на угол 360°, записать уровни сигнала через каждые 5 или 10°. Если нужно особенно тщательно выявить «тонкую» структуру задних и боковых лепестков, то запись уровня сигнала после прохождения основного лепестка нужно производить чаще — через 2 ... 3°, а при большом числе задних лепестков поворачивать испытуемую антенну плавно, записывая последовательно максимальные и минимальные уровни сигнала.

Характеристики направленности вибраторных антенн вертикальной поляризации (например, вертикально-поляризованных антенн типа «волновой канал» и логопериодических) не имеют в горизонтальной плоскости четко выраженного основного лепестка. В таких случаях под уровнем заднего лепестка целесообразно понимать уровень сигнала, принятого с направления, отличающегося на 180° от направления максимума характеристики направленности.

После получения экспериментальной зависимости уровня сигнала на выходе испытуемой антенны от угла ее поворота (характеристика направленности) нужно произвести обработку результатов — *нормирование характеристики направленности.* Нормирование состоит в том, что уровень сигнала, соответствующий максимуму главного лепестка характеристики направленности, условно принимают равным единице, а уровни сигналов, принятые антенной под другими углами, подсчитывают по отношению к максимальному уровню. Эти промежуточные значения лежат в пределах 0 ... 1. Рассчитанная зависимость является *нормированной характеристикой направленности,* которую строят в полярных или прямоугольных координатах. Полученное графическое изображение нормированной характеристики направленности представляет собой *нормированную диаграмму направленности.*

Пользуясь нормированной диаграммой направленности, можно определить ширину главного лепестка как угол, в пределах которого напряжение на выходе антенны спадает до уровня 0,7 максимального, а также нормированный уровень задних и боковых лепестков диаграммы.

Пример. В процессе настройки четырехэлементной антенны типа «волновой канал» третьего телевизионного канала ($f=76 \dots 84$ МГц) произведено измерение характеристики на частоте 80 МГц. Требуется построить нормированную диаграмму направленности и определить ширину главного лепестка диаграммы, а также нормированный уровень задних и боковых лепестков.

1. Полученные экспериментальные данные заносим в таблицу (табл. 13). В колонке 1 указываем угол поворота испытуемой антенны относительно направления максимума характеристики направленности, а в колонке 2 — соответствующие этим углам измеренные значения напряжения U, мВ, на выходе антенны. Направлению максимума ($\varphi=0$) соответствует в данном случае напряжение $U=8$ мВ. Это значение напряжения принимается условно равным единице, поэтому в колонке 3 рядом с максимальным значением напряжения $U=8$ мВ записывается его нормированное значение $U_н=1$. При $\varphi=10°$ напряжение на выходе антенны уменьшается и составляет 7,76 мВ, что соответствует уровню 0,97 максимального (7,76/8=0,97). Поэтому $U_к=0{,}97$ есть нормированное значение характеристики направленности при значении угла поворота $\varphi=10°$. Продолжая таким же образом для остальных значений φ, заполняем полностью колонку 3 нормированных значений характеристики направленности.

2. Строим в полярных (см. рис. 16) или декартовых координатах нормированную диаграмму направленности испытуемой антенны в соответствии с рассчитанными нормированными значениями (колонка 3 табл. 13). По диаграмме направленности определяем ширину главного лепестка ($\varphi=60°$) и нормированный уровень заднего лепестка ($\gamma_н=0{,}2$).

Таблица 13. **Пример обработки результатов измерения характеристики направленности антенны для построения ее нормированной диаграммы**

φ, град	U, мВ	$U_н$	φ, град	$\gamma_н$	φ, град	U, мВ	$U_н$	φ, град	$\gamma_н$
0	8	1			180	1,60	0,20		
10	7,76	0,97			190	1,52	0,19		
20	7,04	0,88			200	1,20	0,15		
30	5,84	0,73			210	0,88	0,11		
40	4,72	0,59			220	0,48	0,06		
50	3,44	0,43			230	0,32	0,04		
60	2,40	0,30			240	0,20	0,03		
70	1,52	0,19			250	0,03	0		
80	0,04	0,08			260	0	0		
90	0	0			270	0	0		
100	0	0			280	0,64	0,08		
110	0,02	0			290	1,44	0,18		
120	0,03	0			300	2,48	0,31		
130	0,04	0			310	3,60	0,45		
140	0,16	0,02	60	0,2	320	4,80	0,60		
150	0,48	0,06		(—14 дБ)	330	5,84	0,73		
160	1,04	0,13			340	6.96	0,87		
170	1,52	0,19			350	7,76	0,97		

Нормирование характеристики направленности и построение нормированной диаграммы направленности может быть произведено не только в относительных единицах, как это сделано в приведенном примере, но и в децибелах. В этом случае уровень сигнала, соответствующий максимуму главного лепестка характеристики направленности, принимают равным 0 дБ, а уровни сигналов, принятые испытуемой антенной под другими углами, записывают в децибелах со знаком «минус».

Нужно отметить, что характеристику направленности в принципе нормировать не обязательно и диаграмму направленности можно построить непосредственно в виде зависимости измеренного напряжения на выходе испытуемой антенны от угла ее поворота. Однако нормированные диаграммы с максимальным значением, приведенным к единице или 0 дБ, значительно удобнее, так как они позволяют наглядно сравнивать между собой по направленным свойствам различные антенны либо конструктивные варианты одной и той же антенны в процессе ее настройки. На рис. 69 приведены, например, построенные на одном и том же бланке нормированные диаграммы направленности трех- (1) и семиэлементной (2) антенны типа «волновой канал», что позволяет наглядно сравнивать их направленные свойства.

Измерение коэффициента стоячей волны

При измерении КСВ антенну следует располагать на расстоянии не менее 4 ... 5 м от земли и местных предметов. Длина кабеля, соединяющего антенну с измерительным прибором, не должна превышать 6 ... 7 м. Коэффициент стоячей волны комнатных антенн, значение, которого составляет, как правило

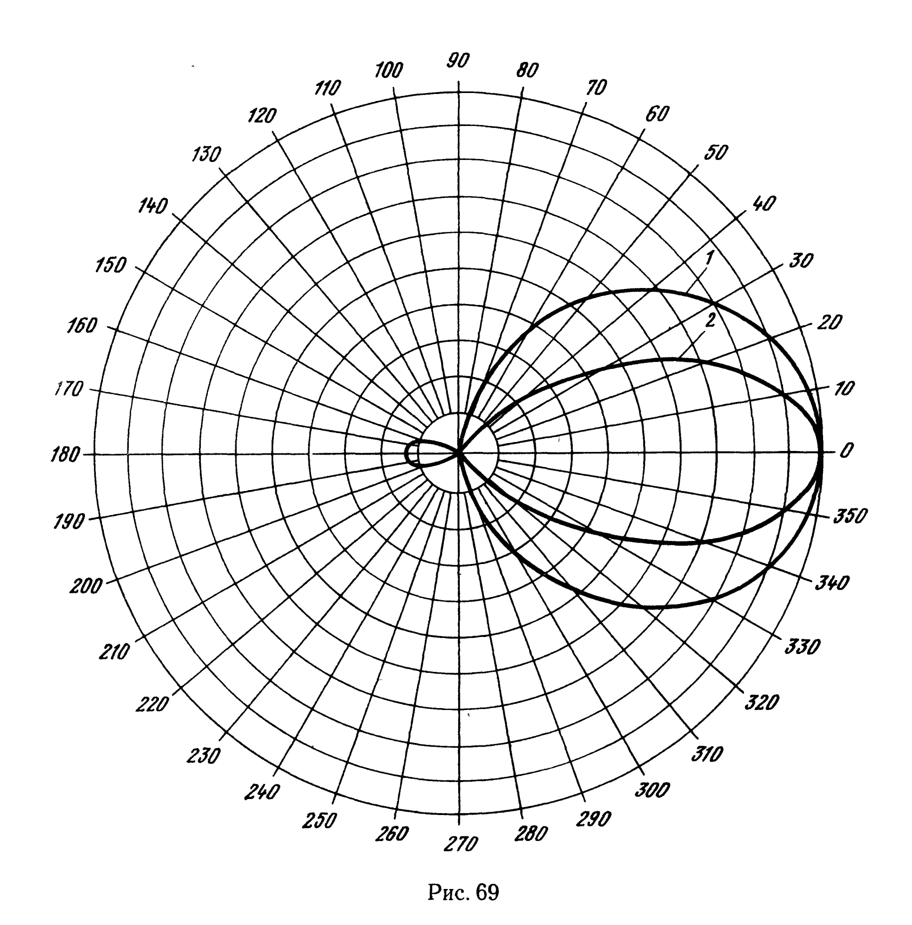


Рис. 69

2. . . . 3 или более, можно измерить в помещении. При этом антенна должна быть на возможно большем расстоянии от металлических предметов (батареи, электропроводки и т. д.) и не ближе 2 . . . 3 м от стен. Для повышения достоверности результатов можно измерить КСВ в нескольких точках помещения и рассчитать среднее значение.

Наиболее точные результаты измерений можно получить при использовании специализированных приборов заводского изготовления для измерения КСВ (табл. 14). Если такие приборы отсутствуют, то следует воспользоваться другими способами измерений, которые относительно просты и позволяют оценивать КСВ с достаточной для практики точностью.

Измерение КСВ с помощью приборов для исследования АЧХ. В радиолюбительской практике широко распространены приборы для исследования АЧХ. Если такой прибор имеет встроенную детекторную головку, как, например, прибор для исследования АЧХ X1-19А, то измерение КСВ можно выполнять сле-

Таблица 14. **Специализированные приборы для измерения КСВ**

Наименование и марка прибора	Диапазон частот, МГц	Пределы измерения, КСВ	Волновое сопротивление, Ом
Измеритель КСВ панорамный:			
РК2-47	20...1250	1,05...5	50 и 75
Р2-102	10...2140	1,03...5	50
Р2-98	10...2140	1,05...5	75
Р2-73	10...1250	1,7...5	50 и 75
Р2-100	10...2140	1,03...5	50
Измерители комплексных коэффициентов передачи Р4-11, Р4-37	1...1250	1,03...2	50 и 75

дующим образом. Переключатель рода работы установить в положение Выход, переключатель Диапазоны МГц — в положение, соответствующее рабочему диапазону частот антенны. К гнезду Выход подключить коаксиальный кабель с волновым сопротивлением 75 Ом (РК 75-9-12, РК 75-9-13) длиной 30...40 м. Свободный конец этого кабеля оставить ненаруженным (холостой ход). При этом на экране прибора будет наблюдаться волнообразная кривая, близкая по форме к синусоиде (рис. 70, а). Такая форма кривой объясняется тем, что в процессе качания частоты входное сопротивление длинного разомкнутого на конце кабеля, подключенного к гнезду Выход, многократно меняется от короткого замыкания до холостого хода. При этом реактивное сопротивление, шунтирующее детекторную головку, меняется от нуля до бесконечности, проходя все промежуточные значения. В соответствии с изменением шунтирующего реактивного сопротивления изменяется уровень сигнала на экране прибора, что и приводит к появлению на экране волнообразной кривой. Если далее к свободному концу длинного кабеля подключить антенну или другую нагрузку, имеющую активную составляющую сопротивления, то размах кривой на экране уменьшится (рис. 70,б) в связи с уменьшением пределов изменения входного сопротивления длинного кабеля при качании частоты.

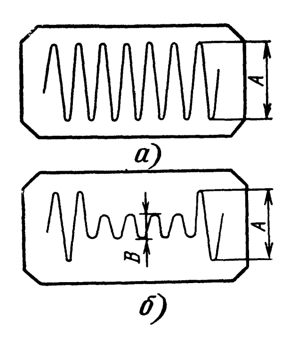


Рис. 70

Значение КСВ может быть определено по формуле

$$КСВ=(A+B)/(A-B),$$

где A и B — полный размах кривой на экране прибора, мм или см, при ненагруженном конце длинного кабеля и при подключенной антенне соответственно.

При КСВ антенны, близком к единице (полное согласование), волнообразная кривая превращается в прямую линию, так как входное сопротивление длинного согласованного кабеля, подключенного параллельной детекторной головке, не зависит при этом от частоты и при качании частоты сопротивление, шунтирующее детекторную головку, остается постоянным.

В некоторых типах приборов для использования АЧХ (например, прибор XI-42) встроенная детекторная головка отсутствует. Поэтому в таких случаях схему измерения нужно видоизменить. К входному гнезду прибора подключают выносную проходную детекторную головку из комплекта прибора, а к выходу головки — кабель длиной 30 ... 40 м. Выпрямленное напряжение с детекторной головки подается на вход усилителя вертикального отклонения луча (вход усилителя постоянного тока). В остальном методика измерений остается прежней — измеряется размах А волнообразной кривой на экране при разомкнутом конце длинного кабеля, затем размах В этой кривой при подключении испытуемой антенны к концу этого кабеля. Значение КСВ определяют по приведенной выше формуле.

ГЛАВА 9. ИЗГОТОВЛЕНИЕ, УСТАНОВКА И ОРИЕНТИРОВАНИЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Изготовление антенн

Гибка труб. Проще всего изгибать трубы из пластичных алюминиевых сплавов АМг2, АМг6, АД-31. Толщина стенки трубы должна быть не менее 1 ... 1,5 мм, радиус изгиба должен превышать 6 ... 7 радиусов трубы. Перед гибкой один конец трубы необходимо закрыть деревянной пробкой и набить трубу сухим хорошо просеянным речным песком. В процессе набивки трубу следует периодически встряхивать для более плотного заполнения песком. После набивки второй конец трубы также необходимо закрыть пробкой. Изгибать трубу следует между стальными роликами с канавками полукруглого сечения. Радиус канавки должен быть равен радиусу изгибаемой трубы. Один ролик устанавливают на неподвижной оси, второй — в вилке поворотного рычага, который имеет возможность поворота вокруг оси неподвижного ролика. Изгибаемую трубу закладывают в канавки между роликами, один конец ее жестко закрепляют. При медленном повороте рукоятки рычага ролик обкатывает трубу и изгибает ее. Если приспособление для гибки со сменными роли-

ками (для гибки труб разного диаметра) изготовить затруднительно, то заполненную песком трубу можно согнуть вокруг болванки требуемого диаметра.

Гальванические покрытия и окрашивание. Для увеличения надежности и срока службы антенны необходимо защитить ее от воздействия выпадаемых (дождь, снег) и конденсированных (туман, роса, иней) осадков, а также от агрессивных промышленных газов. Основные правила выбора защитных покрытий приведены в гл. 10. Необходимо иметь в виду, что на детали, соединенные свинчиванием, точечной сваркой, клепкой, запрессовкой и т. п., покрытия следует наносить до сборки. На узлы, состоящие из деталей, соединяемых пайкой или сваркой (кроме точечной), покрытие наносится после соединения. При этом паяные и сварные швы, околошовное пространство (на расстоянии до 10 мм), а также места, труднодоступные для проникновения электролита (глухие отверстия, узкие щели), следует дополнительно защитить лакокрасочным покрытием. В практике изготовления телевизионных антенн часто бывает, необходимо обеспечить гальванический контакт между деталями из алюминиевых сплавов, а также произвести пайку к алюминиевым сплавам низкотемпературными припоями. В таких случаях наносится проводящее покрытие (химическое никелирование или покрытие сплавом олово-висмут). Пайка к деталям из алюминиевых сплавов может быть также произведена с помощью лепестков, изготовленных из алюминиевых листов, плакированных медью, с последующей защитой места пайки каким-либо водостойким лаком (например, УР-231).

Монтажные работы. Монтаж антенны нужно производить очень тщательно и аккуратно, так как ремонт антенны связан с трудоемкими операциями по ее спуску и подъему. При монтаже кабельных соединений следует тщательно следить за тем, чтобы не надрезать центральный проводник кабеля при его разделке, так как в месте надреза он может сломаться. Перед пайкой, а также после нее необходимо проверить, не замкнулся ли металлический волосок оплетки кабеля на центральный проводник. Необходимо избегать длительного прогрева кабеля в процессе пайки и облуживания, так как при этом оплавляется полиэтиленовая изоляция и происходит смещение центрального проводника. Поэтому пайку кабелей лучше производить легкоплавкими припоями (например, ПОСК-50, ПОС-61). Пайка не должна нести механических нагрузок, поэтому вблизи места пайки кабель следует закрепить скобками. Во избежание вытягивания кабеля под действием собственного веса его нужно крепить скобками через каждые 1,5... м. Концы вибраторов, к которым подключается кабель, следует поместить в монтажную коробку, выполненную из диэлектрического материала. Для предохранения мест паек от влаги целесообразно залить внутрь монтажной коробки церезин. Заливка расплавленного церезина до полного заполнения объема коробки производится через отверстие диаметром 6....8 мм в крышке монтажной коробки, закрываемое после заливки завинчивающейся пробкой. В крышке должно быть еще одно отверстие, предназначенное для выхода вытесняемого воздуха.

При монтаже антенны иногда появляется необходимость срастить два отрезка кабеля. Способ сращивания показан на рис. 10. Для большей механической прочности сращенные концы кабелей можно связать планкой с хомутами или проволочным бандажом

Радиус изгиба кабелей при монтаже должен быть не менее указанного в табл. 3.

Установка и ориентирование антенн

Внешний вид простой по конструкции мачты, на которой может быть установлена антенна, показан на рис. 71. Мачта состоит из двух колен 1 и 2, соединенных хомутом 3. Нижнее колено опирается на подпятник 4, который крепится к стропилам шурупами или сквозными болтами. На верхнем колене расположены кольцо 5 крепления растяжек, опирающееся на палец 6, штырь 7, позволяющий поворачивать верхнее колено относительно нижнего (при ослабленном верхнем болте хомута 3), а также узел крепления антенного полотна. Мачта может свободно поворачиваться в вертикальной плоскости на оси 8, что позволяет поднимать и опускать антенну. Мачта изготавливается из стальной трубы диаметром 30...40 мм, подпятник и скобы крепления — из листовой стали толщиной 1,5...2 мм, растяжки — из стального канатика или проволоки толщиной 3...4 мм.

Схемы опор, на которых можно разместить несколько антенных полотен разных каналов или диапазонов, а также полотна двухэтажной антенны показаны на рис. 72,а и б

На рис. 73 приведены варианты крепления опорной части антенны к металлической (рис. 73, а) шиферной (рис. 73, б) кровле. К трубе 1 длиной 150...200 мм с одной стороны приварена плита, с помощью которой труба крепится к стропилам 2, с другой стороны на трубу надевается и стопорится тремя болтами фланец 3. При установке антенны подпятник мачты сочленяется с фланцем 3 болтами. Концы растяжек крепятся к анкерам, которые устанавливаются на стропилах.

Способы установки подкосов под стрелы антенн показаны на рис. 74.

В процессе установки антенны нужно обратить особое внимание на надежную гидроизоляцию кровли. Все щели необходимо тщательно забить мешковиной, пропитанной битумом. Место размещения антенны должно быть выбрано так, чтобы в непосредственной близости от нее не было выступающих металлических предметов, лифтовых надстроек, вентиляционных коробов, стоек и проводов радиотрансляционной сети и т. д. При установке антенны нужно соблюдать правила безопасности. Каждый работающий должен быть в обуви на резиновой подошве без металлических гвоздей и обязан иметь средства индивидуальной защиты: индикатор напряжения, инструмент с изолированными ручками, рукавицы, предохранительный пояс, страхующий канат. До начала работ необходимо проверить надежность ограждения, прочность кровли и чердачных перекрытий, исправность лестниц для выхода на крышу через слуховое окно или люк. Нельзя работать в дождь и снегопад, при наступлении темноты, при грозе и ее приближении, при скорости ветра более 10 м/с.

Для обеспечения длительной и безотказной работы антенны нужно периодически ее осматривать, подтягивать болтовые соединения, регулировать натяжение растяжек, подкрашивать.

После установки антенны производится ее ориентирование. Антенна устанавливается в такое положение, чтобы максимум главного лепестка диаграммы

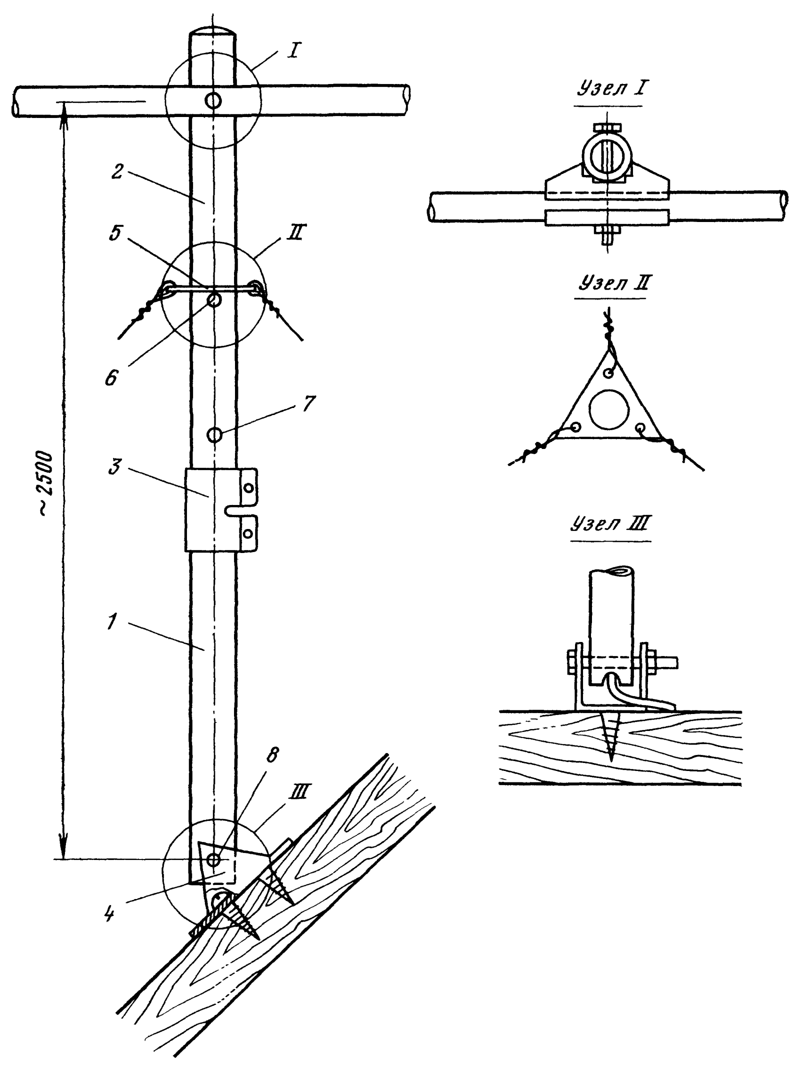


Рис. 71

направленности был направлен в сторону передающей антенны телевизионного центра или ретранслятора. Если, однако, в точке приема имеются помехи и отраженные сигналы, то это положение не во всех случаях является наилучшим. Поворотом антенны на небольшой угол в ту или другую сторону иногда удается ослабить помеху и отраженный сигнал. Это можно пояснить следую-

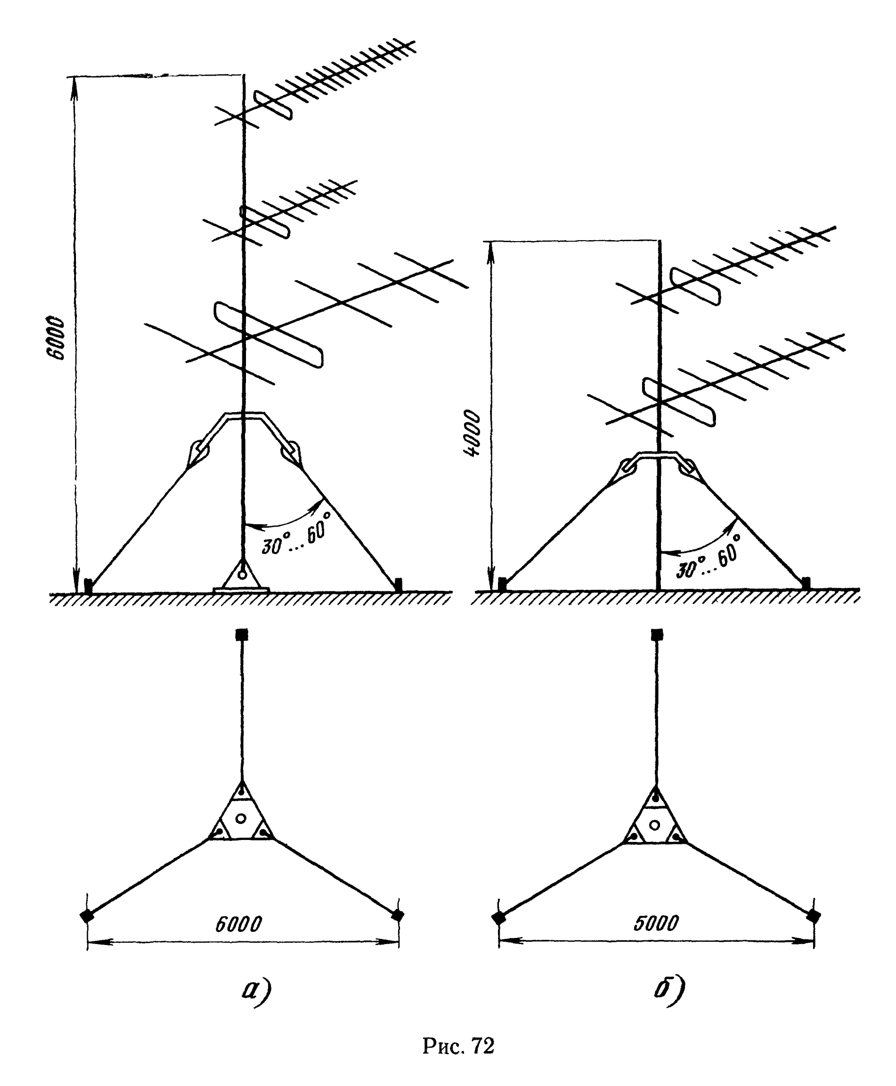


Рис. 72

щим образом (рис. 75). Предположим, что сигнал от передающей антенны приходит с направления, которое на рис. 75 показано сплошной стрелкой, а сигнал помехи или повторный сигнал — с направления, показанного штриховой стрелкой. Если антенна ориентирована точно на телевизионный центр, то уровень полезного сигнала на входе приемника максимален, а ослабление сигнала помехи соответствует отношению отрезков ае и аг. Повернем теперь антенну на некоторый угол. На этот же угол повернется диаграмма направленности и перейдет соответственно из положения 1 в положение 2. Уровень полезного сиг-

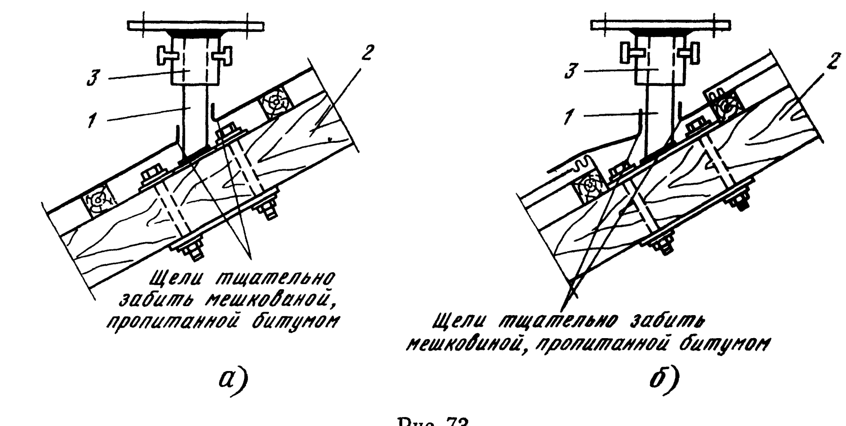


Рис. 73

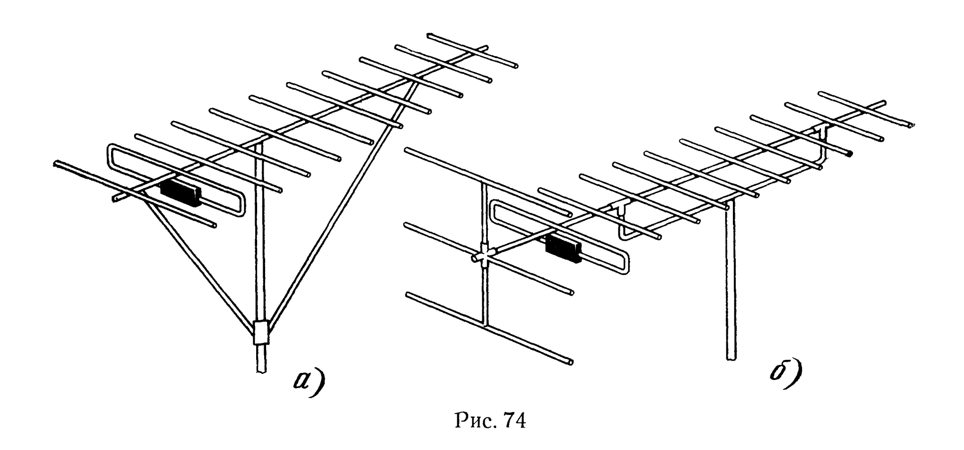


Рис. 74

нала на входе приемника уменьшится (в отношении длин отрезков ав и аг) но еще в большей мере уменьшится уровень помехи (в отношении длин отрез ков ад и ае). В результате этого при повороте диаграммы направленности из положения 1 в положение 2 уровень полезного сигнала снижается, а отношение сигнал-помеха возрастает. При дальнейшем повороте антенны (из положения 2 в положение 3) уровень полезного сигнала продолжает уменьшаться, а отношение сигнал-помеха возрастать. Снижение уровня полезного сигнала при одновременном увеличении отношения сигнал-помеха приводит к тому, что, с одной стороны, начинают сказываться собственные шумы приемника, проявляющиеся на экране приемника в виде «снега», а с другой стороны, уменьшается заметность внешней помехи на экране. Отсюда следует, что при наличии помехи в точке приема угловое положение антенны должно выбираться из усло-

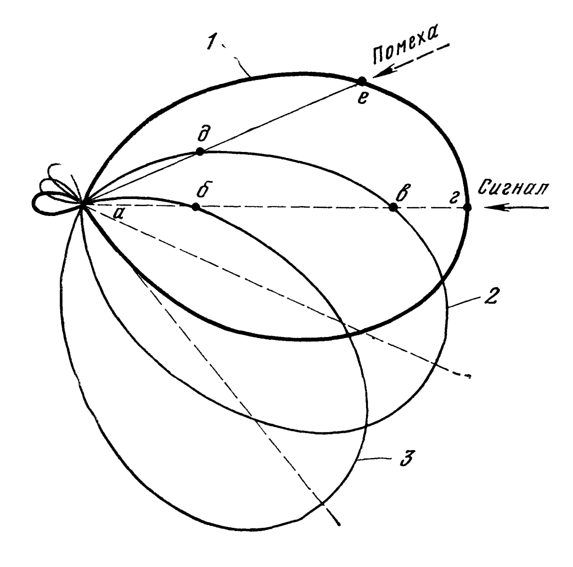


Рис. 75

вия компромисса между заметностью собственных шумов и внешней помехи, т. е. исходя из субъективного восприятия изображения в целом.

Чем меньше угол между направлениями прихода полезного сигнала и помехи, тем большей направленностью должна обладать антенна.

ГЛАВА 10.

МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

Допустимые и недопустимые контакты между металлами

Основные детали антенн — опоры, несущие стрелы, подкосы, вибраторы. Элементы креплений изготавливаются из металлов. При выборе металлов необходимо помнить, что некоторые из них ири непосредственном контакте образуют недопустимую электрохимическую пару, приводящую к постепенному разрушению деталей в месте контакта. Это явление сказывается особенно сильно при повышенной влажности и в условиях морского климата. Если гальванический контакт между деталями не обязателен, то их следует изолировать друг от друга прокладками, эмалями, лаками, смазками. Можно также на одну или обе сопрягаемые детали нанести металлические покрытия, образующие допустимую пару. В табл. 15 приведены допустимые и недопустимые пары ме-

Таблица 15. **Допустимые и недопустимые контакты между маталлами и покрытиями**

Сопрягаемый металл и покрытие	Хромоникелевые сплавы	Никель (металл и покрытия)	Медь, латунь	Олово и его сплавы (металл и покрытия), припои типа ПОС	Хром и хромовые покрытия	Кадмий (металл и хромированные покрытия)	Алюминий и его сплавы	Цикл (металл и хроматированные покрытия)
Хромоникелевые сплавы	0000	0000	0000	0000	0000	0222	0111	1222
Никель (металл и покрытие)	0000	0000	0000	0000	0000	0222	0222	0222
Медь, латунь	0000	0000	0000	0000	0000	1222	1222	2222
Олово и его сплавы (металл и покрытия), припои типа ПОС	0000	0000	0000	0000	0000	0011	0011	0011
Хром и хромовые покрытия	0000	0000	0011	0000	0000	0222	0011	0222
Кадмий (металл и хроматированные покрытия)	0222	0222	1222	0011	0222	0000	0000	0000
Алюминий и его сплавы	0111	0222	1222	0011	0011	0000	0000	0000
Цинк (металл и хроматированные покрытия)	1222	0222	2222	0011	0222	0000	0000	0000

Примечание. 0 — коррозия отсутствует; 1 — незначительная коррозия (контакт допустим); 2 — значительная коррозия (контакт недопустим).

Таблица 16. **Группы климатических исполнений по ГОСТ 15150—69**

Климатическая характеристика	Обозначение	
	буквенное	цифровое
Районы с умеренным и холодным климатом, теплым влажным и жарким сухим климатом	УХЛ	1
Районы с влажным тропическим климатом	ТВ	2
Районы с сухим тропическим климатом	ТС	3
Районы как с сухим, так и с влажным тропическим климатом	Т	4
Все районы на суше, кроме районов с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение)	О	5
Районы с умеренно холодным морским климатом	М	6
Районы с тропическим морским климатом	ТМ	7
Умеренно холодный и тропический морской климат		8

таллов. Цифра 0 соответствует полному отсутствию коррозии между сопрягаемыми металлами, цифра 1 — незначительной коррозии, при которой контакт металлов еще допустим, цифра 2 — значительной коррозии, приводящей к постепенному разрушению деталей в месте контакта. В табл. 16 даны группы климатических исполнений по ГОСТ 15150—69 с указанием климатической характеристики каждого исполнения, а также буквенного и цифрового обозначения группы. В таблице допустимых и недопустимых контактов (см. табл. 15) первая из четырех цифр относится к группе климатического исполнения 1, вторая — к группам 2, 3, 4, третья — к группам 5 и 6, четвертая — к группам 7 и 8.

Поясним порядок определения допустимости контактов различных металлов и покрытий с помощью табл. 15 и 16.

Пример 1. Определить допустимость контакта между кадмированной и латунной деталями в районах с умеренно холодным морским климатом.

1. По табл. 16 определяем, что районы с умеренно холодным морским климатом относятся к группе климатического исполнения 6.

2. В левой колонке табл. 15 находим один из сопрягаемых металлов — кадмий, в верхней строке этой же таблицы — второй из сопрягаемых металлов — латунь. На пересечении строки, соответствующей кадмию, и колонки, соответствующей латуни, находим цифры 1222. Группе климатического исполнения 6 соответствует третья цифра, т. е. цифра 2. Следовательно, кадмированная и латунная детали образуют недопустимую пару металлов.

Пример 2. Определить допустимость контакта между цинкованной и облуженной деталями (например, цинкованный вибратор и облуженной контактный лепесток) в условиях жаркого сухого климата.

1. По табл. 16 определяем, что районы с жарким сухим климатом относятся к группе климатического исполнения 1.

2. В левой колонке табл. 15 находим один из сопрягаемых металлов — цинк, в верхней строке — другой из сопрягаемых металлов — припой типа ПОС. На пересечении строки, соответствующей цинку, и колонки, соответствующей олову и его сплавам, находим цифры 0011. Группе климатического исполне-

ния 1 соответствует первая цифра, т. е. цифра 0. Следовательно, контакт между цинкованной и облуженной деталями допустим.

Пример 3. Определить, можно ли подключить медную жилу радиочастотного кабеля РК к цинкованной детали путем зажима под болт.

По методике, указанной в примерах 1 и 2, находим, что в табл. 15 на пересечении строки, соответствующей меди, и колонки, соответствующей цинку, находятся цифры 222. Это означает, что контакт недопустим при любых климатических условиях. Для подключения кабеля к цинкованной детали путем зажима под болт нужно жилу предварительно облудить, так как цинк и припой ПОС образуют допустимый контакт при любых климатических условиях.

Черные и цветные металлы

Черные металлы в виде труб, профилей и листов применяются в основном для изготовления мачт, несущих стрел, подкосов, деталей крепления и т. д. Наибольшее распространение имеют бесшовные холодно и горячедеформированные трубы из углеродистой стали марок 10, 20, 35 и 40. Эти трубы обладают высокой прочностью, хорошо поддаются гибке, свариваются электро- и газовой сваркой. Размеры поперечного сечения наиболее употребительных холоднодеформированных труб приведены в табл. 17. Могут быть также использованы водогазопроводные (газовые) трубы из стали марок Ст2 и кп2. Для изготовления элементов конструкций используются также угловые профили (уголки) из стали Ст3сп и Ст3кп. Размеры поперечного сечения наиболее употребительных угловых профилей приведены в табл. 18.

При изготовлении телевизионных антенн широко применяются алюминиевые сплавы в виде труб, листов и профилей. Наиболее распространенными марками алюминиевых сплавов являются АМц, Д1, Д16, АМг2, АМг6, АД-31. Материалы из мягкого сплава АМц очень пластичны, легко поддаются гибке и

Таблица 17. **Размеры поперечного сечения бесшовных холоднодеформированных труб из углеродистой стали**

Марка стали	Размер		Масса одного погонного метра, кг
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	
10, 20, 35, 45	6	1	0,123
	6	1,4	0,159
	10	1	0,222
	10	1,4	0,296
	16	1	0,370
	16	1,4	0,503
	22	1	0,518
	22	2	0,986
	36	2	1,680
	36	3	2,440
	60	3	4,220
	60	5	6,780

Таблица 18. **Размеры профиля углового равнополочного из прокатной стали**

Марка стали	Номер профиля	Размер полки, мм		Масса 1 погонного метра, кг
		ширина	толщина	
Сс3сп, Ст3кп	2	20	3	0,89
	2,8	28	3	1,12
	4	40	3	1,85
	5,6	56	4	3,45
	8	80	6	7,36

Таблица 19. **Размеры поперечного сечения труб катаных и тянутых из алюминиевых сплавов**

Марка сплава	Размер		Масса одного погонного метра, кг	Марка сплава	Размер		Масса одного погонного метра, кг
	наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм			наружный диаметр, мм	толщина стенки, мм	
АД1, АМц АМг2, АМг6, Д1, Д16	6	1	0,045		24	3	0,564
	7	1	0,054		36	2	0,609
	8	1	0,063		36	3	0,896
	10	1	0,081		40	3	0,994
	12	1	0,098		40	4	1,289
	14	1	0,116		50	4	1,647
	16	1	0,134		50	5	2,014
	16	1,5	0,195		60	5	2,462
	22	1	0,188		70	5	2,910
	22	1,5	0,275		80	5	3,358
	24	1,5	0,302				

Таблица 20. **Размеры поперечного сечения уголков, прессованных из алюминиевых сплавов**

Марка сплава	Обозначение		Размер полки, мм		Масса одного погонного метра, кг
	старое	новое	ширина	толщина	
АД31, АМц АГ2, Д16, АМг6	66	410040	20	2	0,217
	88	410058	25	2,5	0,339
	120	410080	30	2,5	0,410
	182	410117	40	3	0,661
	216	410137	50	4	1,099
	254	410160	60	5	1,646

сварке, однако детали из этого материала легко деформируются под действием нагрузок. Матералы из сплавов Д1 и Д16 имеют высокую механическую прочность, однако гибка и сварка деталей затруднительны. Наилучшими качествами обладают материалы из сплавов АМг2 и АМг6, имеющие высокую механическую прочность в сочетании с пластичностью. Эти материалы легко поддаются гибке, хорошо свариваются. Важным достоинством материалов из этих сплавов является коррозионная стойкость в атмосфере промышленных газов, что позволяет эксплуатировать их без покрытий на открытом воздухе в течение 10...12 лет.

Размеры поперечного сечения наиболее употребительных труб и уголков из алюминиевых сплавов АД31, Д16, АМг2, АМг6 приведены соответственно в табл. 19 и 20.

При изготовлении телевизионных антенн часто возникает необходимость припайки медной жилы радиочастотного кабеля к вибратору, изготовленному из алюминиевого сплава. Наиболее простым способом является применение лепестков, изготовленных из алюминиевых листов, покрытых с одной стороны медью (плакированных медью) АМП-1М. Толщина листа составляет 1,5 мм,

толщина слоя меди — 0,2...0,4 мм. Лепесток из такого листа приваривается алюминиевой основой к вибратору, к медному слою припаивается жила кабеля, после чего место пайки закрашивается или покрывается лаком. Алюминиевые листы, плакированные медью, могут быть использованы во всех случаях, когда нужно припаять медную деталь к детали из алюминиевого сплава.

Диэлектрические материалы

Диэлектрические материалы используются для изготовления корпусов монтажных коробок, изоляторов, разделяющих проводники фидерных линий, а также во многих других случаях. Основные требования, предъявляемые к диэлектрическим материалам, — устойчивость к воздействию климатических факторов, малое водопоглощение, малые потери, возможность механической обработки.

Гетинакс — один из наиболее дешевых и распространенных диэлектрических материалов. Выпускается в виде листов толщиной 0,2...50 мм. Работает в интервале температур от —60 до +105° С, хорошо распиливается и обрабатывается на станках. Недостатки — значительные потери, особенно в дециметровом диапазоне волн, недостаточная устойчивость к воздействию атмосферных осадков, повышенное водопоглощение. Применяется только при отсутствии материалов, более устойчивых к воздействию повышенной влажности.

Стеклотекстолит выпускается в виде листов толщиной 0,5...8,5 мм, работает в широком интервале температур, хорошо обрабатывается на станках. По сравнению с гетинаксом имеет меньшие потери, более устойчив к воздействию атмосферных осадков. Недостаток — при механической обработке, особенно на станках, образуется вредная для здоровья пыль, что требует определенной предосторожности.

Органическое стекло выпускается в листах или гранулах, из которых прессованием могут быть получены детали разной формы. Хорошо распиливается и обрабатывается на станках. Рабочий интервал температур от —60 до +60° С, стойко к воздействию климатических факторов.

Винипласт выпускается в листах толщиной 2...20 мм. Механически прочен, обладает высокой стойкостью к воздействию осадков и агрессивных промышленных газов, имеет малые потери, в том числе в дециметровом диапазоне волн. Винипластовые детали (антенные обтекатели, монтажные коробки т. д.) могут быть изготовлены из листов сваркой струей горячего воздуха при температуре 110...120° С с использованием присадок из винипластовых прутков. Недостатком винипласта является недостаточная холодостойкость (крайняя отрицательная температура —30° С). Под действием солнечной радиации винипласт темнее, что, однако, не сказывается на его физико-химических свойствах.

Прессматериалы ДСВ-2, АГ-ЧС, АГ-48 используются для изготовления прессованием деталей антенн, которые имеют высокую механическую прочность, малое водопоглощение, устойчивы к воздействию атмосферных осадков, промышленных агрессивных газов, морского климата.

Полиамидные смолы используются для изготовления деталей антенн прессованием или механической обработки блоков. Детали имеют высокую меха-

Таблица 21. **Электрические параметры диэлектрических материалов**

Наименование	Удельное объемное сопротивление ρ_V, Ом·см	Относительная диэлектрическая проницаемость ε	Тангенс угла потерь $tg\,\delta$
Гетинакс листовой	10^{10}	8 на частоте 50 Гц и 7 на частоте 10^6 Гц	0,1
Стеклотекстолит листовой	10^{10}	—	—
Органическое стекло	10^{10}	3,5 на частоте 50 Гц и 2,9 ... 3,2 на частоте 10^6 Гц	0,02 ... 0,06 на частоте 50 Гц и 0,02 ... 0,03 на частоте 10^6 Гц
Полиамидные смолы	$10^{13} \ldots 10^{14}$	4 ... 5 на частоте 10^6 Гц	0,012 ... 0,08 на частоте 10^6 Гц
Прессматериал ДСВ-2	10^{13}	—	0,04 на частоте 10^6 Гц
Прессматериалы АГ-4С, АГ-4В	10^{12}	10 на частоте 50 Гц и 8 на частоте 10^6 Гц	0,1 ... 0,15 на частоте 50 Гц и 0,05 на частоте 10^6 Гц
Винипласт листовой	10^{14}	—	—
Фторопласт-4	—	2,2	0,0003 на частоте 10^6 Гц
Пенопласт плиточный ПС-1, ПС-4	10^{14}	1,2 на частоте 10^6 Гц и 1,18 на частоте 10^{10} Гц	0,0023 на частоте 10^6 Гц и 0,0020 на частоте 10^{10} Гц
Церезин (заливочный материал)	10^{15}	2,2 на частоте 10^3 Гц	0,0004 на частоте 10^3 Гц

ническую прочность, стойки к воздействию климатических факторов и промышленных агрессивных газов.

Пенопласты ПС-1, ПС-4, а также других марок выпускаются в виде плит толщиной до 75 мм. Хорошо режутся, допускают механическую обработку, очень легки (удельная плотность около 0,2 г/см^3), имеют малые потери. Механически недостаточно прочны.

Электрические параметры диэлектрических материалов приведены в табл. 21.

Гальванические покрытия

При изготовлении антенн гальванические покрытия применяются для защиты металлических деталей от коррозии, улучшения их паяемости и электропроводности, а также для обеспечения возможности непосредственного контакта деталей, изготовленных из металлов, которые без покрытий образуют недопустимую электрохимическую пару. Наиболее распространенными гальваническими покрытиями являются цинковое, кадмиевое, никелевое, а также покрытия сплавами олово-висмут и олово-свинец. Из этих покрытий самыми коррозионно-стойкими являются цинковое и кадмиевое. При выборе вида покрытия для деталей антенны следует учитывать условия ее эксплуатации, допустимость выбранных покрытий с точки зрения допустимости контактов покры-

тых металлических деталей (проверяется по табл. 15 и 16), а также предъявляемые требования по паяемости и электропроводности

Цинковое покрытие. Цвет — светло-серый, с хроматированием от светло-серого до голубого, возможны радужные, фиолетовые и желтоватые отттенки. Прочное сцепление с основным металлом, хорошо выдерживает гибку и развальцовку, однако не выдерживает запрессовку. Имеет высокую стойкость в загрязненной атмосфере, насыщенной промышленными газами, менее стойко в морской среде. Во влажном воздухе на поверхности покрытия возможно появление окислов цинка, переходящих в белую рыхлую осыпающуюся пленку, что не ухудшает защитных свойств покрытия. Покрытие неустойчиво при контакте с деревянными деталями, пропитанными олифой. Свежеосажденное покрытие хорошо паяется с бескислотными флюсами в течение суток. Хорошая проводимость, электрическое сопротивление равно $5{,}75 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. Коррозионная стойкость может быть повышена хроматированием.

Основная область применения — покрытие деталей, эксплуатируемых в загрязненной атмосфере, насыщенной промышленными газами. при повышенной влажности и температуре.

Кадмиевое покрытие. Цвет — светло-серый, с хроматированием от светло-серого до серебристо-желтоватого, возможны радужные оттенки. Прочное сцепление с основным металлом, высокая пластичность при развальцовке, штамповке, запрессовке. Имеет высокую стойкость в среде морских испарений и туманов, менее стойко в атмосфере, загрязненной промышленными газами, а также при непосредственном контакте с деревянными деталями, пропитанными олифой. При повышенной влажности возможно появление окислов кадмия, переходящих в белую рыхлую осыпающуюся пленку, что не снижает защитных свойств покрытия. Свежеосажденное покрытие хорошо паяется с бескислотными флюсами в течение суток. Проводимость несколько ниже, чем у цинкового покрытия, электрическое сопротивление равно $1{,}1 \cdot 10^{-7}$ Ом·м. Не рекомендуется для применения в атмосфере промышленных районов, особенно при наличии сернистых газов.

Основная область применения — покрытие деталей, эксплуатируемых в условиях морского климата. Используется только в тех случаях, когда применение цинкового покрытия невозможно.

Никелевое покрытие. Цвет — серебристо-белый с желтоватым оттенком. Хорошее сцепление с основным металлом, коррозионно-стойкое при пониженной и повышенной температурах, а также в условиях повышенной влажности. Возможно образование зеленоватой пленки солей никеля, при длительной эксплуатации темнеет, что не снижает защитных свойств покрытия. Обладает хорошей проводимостью. однако несколько меньшей, чем у цинкового покрытия, электрическое сопротивление равно $7{,}2 \cdot 10^{-8}$ Ом·мм.

Основная область применения — покрытие деталей, эксплуатируемых на открытом воздухе при отсутствии или небольшом содержании промышленных газов в атмосфере.

Покрытие сплавом олово-висмут. Цвет — от серебристо-белого до серого, хорошее сцепление с основой (деталями из меди и медных сплавов), обладает эластичностью, хорошо выдерживает изгибы, развальцовку, штаммповку, со-

Таблица 22. **Виды металлических покрытий**

Материал детали	Вид покрытия	Обозначение покрытия по ГОСТ 9.306—85	Область применения
1	2	3	4
Сталь	Цинковое	Ц6.хр Ц15,хр Ц24.хр	Защита от коррозии в атмосфере промышленных газов и при контакте с деталями из алюминиевых сплавов, обеспечение паяемости и электропроводности
	Кадмиевое	Кд15.хр Кд24.хр	Защита от коррозии в условиях морского климата и при контакте с деталями из алюминиевых сплавов, обеспечение паяемости и электропроводности
	Никелевое	Н9 Н15	Защита от коррозии, улучшение электропроводности, обеспечение паяемости и допустимых контактов с другими металлами (кроме деталей антенн, эксплуатируемых в морской атмосфере)
Медь, медные сплавы	Цинковое	Ц16.хр Ц15.хр	Защита от коррозии при контакте с деталями из алюминиевых сплавов
	Кадмиевое	Кд6.хр Кд12.хр	То же
	Сплав олово-висмут	О-Ви (99,8)6 Н3.О-Ви (99,8)3	Обеспечение паяемости
	Сплав олово-свинец	0-С(60)6 Н3О-С (60)3	То же
Алюминий и алюминиевые сплавы	Кадмиевое	Н12.Кд12 Хим.Н18 Кд18.хр	Защита от коррозии
	Медное	М3 М6 М9 М15	Обеспечение паяемости
	Никелевое	Н12 Н18 Н24	Улучшение электропроводности, обеспечение паяемости и допустимых контактов с другими металлами

1	2	3	4
	Сплав олово-висмут	Н12.О-Ви (99,8)6 Н12.О-Ви (99,8)12	Обеспечение паяемости
	Сплав олово-свинец	Н12.О-С (60)6 Н12.О-С (60)12 Хим.Н12 О-С(60)12	То же

храняет способность к пайке бескислотными флюсами в течение года при хранении деталей в сухом помещении. До использования покрытые детали желательно хранить в полиэтиленовых пакетах.

Основная область применения — покрытие деталей, эксплуатируемых на открытом воздухе в относительно легких условиях (при отсутствии или малом содержании промышленных газов в атмосфере) и при необходимости обеспечения хорошей паяемости.

Покрытие сплавом олово-свинец. Цвет — от светло- до темно-серого. Имеет прочное сцепление с основным металлом, эластично. Хорошо паяется с бескислотными флюсами, сохраняет способность к пайке в течение 2—3 недель. Покрытые детали до использования желательно хранить в полиэтиленовых пакетах.

Основная область применения — покрытие деталей, эксплуатируемых на открытом воздухе в относительно легких условиях (при отсутствии или малом содержании промышленных газов в атмосфере) и при необходимости обеспечения хорошей паяемости.

Основные сведения по металлическим покрытиям сведены в табл. 22. Пользуясь этой таблицей, необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства. Наиболее дешевым и коррозионно-стойким покрытием, хорошо работающим в атмосфере промышленных газов, является цинковое. Однако в условиях морского климата цинковое покрытие является недостаточно стойким и для деталей антенн, предназначенных для эксплуатации вблизи морских побережий, на кораблях, лучше применять кадмиевое покрытие. В то же время кадмиевое покрытие хуже, чем цинковое, работает в промышленных районах с повышенной концентрацией промышленных газов. Цинковое и кадмиевое покрытия хорошо паяются бескислотными флюсами только в свежеосажденном виде. Поэтому если детали с нанесенными покрытиями должны до сборки и монтажа храниться значительное время (более суток), то можно использовать покрытия сплавами олово-висмут или олово-свинец, которые в коррозионном отношении

менее стойки, чем цинковое и кадмиевое, но сохраняют хорошую паяемость бескислотными флюсами в течение длительного времени (олово-свинец — до 3 недель, олово-висмут — до года).

Лакокрасочные покрытия

Лакокрасочные покрытия применяются в качестве основного покрытия для защиты деталей антенн от коррозии, а также в качестве дополнительного покрытия, улучшающего коррозионную стойкость деталей с предварительно нанесенным гальваническим покрытием.

Для получения высококачественного лакокрасочного покрытия необходимо тщательно подготовить поверхность окрашиваемой детали. Если деталь не имеет гальванического покрытия, то ее следует отпескоструить или подвергнуть абразивной очистке, затем обезжирить и загрунтовать. Обезжиривание лучше всего производить уайт-спиритом, представляющим собой смесь этилового спирта и бензина в соотношении 1 : 1. Для экономии уайт-спирита обезжиривание производится с помощью щетки, протирочного материала или тканевого тампона, смоченного уайт-спиритом с последующей сушкой 20...30 мин при

Таблица 23. **Виды и характеристики грунтовок**

Наименование и марка	Цвет	Рабочий диапазон температур, °С	Режим сушки, °С	Свойства	Область применения
Грунтовка фосфатирующие ВЛ-02 и ВЛ-023	Зеленый	От —60 до +80	23±5 (0,5 ч)	Полуматовые, твердые, механически прочные, эластичные	Подслой под эмали, защита мест керновки и развальцовки
Грунтовки ФЛ-03, ФЛ-03к. ФЛ-03ж	Желто-зеленый или коричневый	От —60 до +60	23±5 (12 ч)	Полуглянцевые механически прочные, эластичные	Подслой под эмали, защита мест керновки и развальцовки. Марка ФЛ-03к по черным металлам, меди и медным сплавам, ФЛ-03ж—по алюминию и алюминиевым сплавам
Грунтовка ЭП-076	Желтый	От —60 до +180	23±5 (8 ч)	Матовая, твердая, механически прочная, эластичная	Подслой под эмали, защита мест керновки и развальцовки
Грунтовка ЭП-09Т	Красный, желтый	От —155±10 60 до +80 (2 ч)		Матовая, твердая, механически прочная, эластичная	Подслой под эмали. Грунтовка красного цвета — по черным металлам, желтого — по цветным
Грунтовка АК-070	Желтый	От —23±5 60 до +80 (1 ч)		То же	То же

Таблица 24. **Виды и характеристики эмалей**

Наименование и марка	Рабочий диапазон температур, °С	Режим сушки, °С	Свойства
Эмаль МЛ-12	От —60 до + +100	135±10, (0,5 ч) или 55±5 (12 ч)	Эластичная, устойчивая к воздействию щелочей, кислот, агрессивных газов
Эмаль ХВ-16	От —60 до +90	23±5 (3 ч)	Эластичная, устойчивая к воздействию щелочей, кислот, агрессиных газов, радиопрозрачная
Эмали ХВ-124, ХВ-125	От —60 до +90	23±5 (4 ч)	Эластичные, устойчивые к воздействию агрессивных газов, морского климата
Эмали ХВ-518, ХВ-519	От —60 до +90	23±5 (4 ч)	Эластичные, устойчивые к воздействию воды, масел, радиопрозрачные
Эмаль ПФ-115	От —60 до +80	23±5 (48 ч)	Глянцевая, механически прочная, устойчивая к воздействию агрессивных сред, масел. Хорошие электроизоляционные свойства
Эмаль НЦ-11	От —60 до +60	20±2 (1 ч)	Эластичная, устойчивая к воздействию осадков, повышенной влажности и температуры
Эмаль ПФ-1217 ВЭ	От —60 до +80	20±2 (24 ч)	Глянцевая, механически прочная, устойчивая к воздействию осадков, агрессивных газов, повышенной влажности и температуры

комнатной температуре. Детали, имеющие гальванические покрытия, обезжиривают уайт-спиритом и грунтуют. Для деталей из алюминия и его сплавов обезжиривание можно заменить анодированием или оксидированием, из меди и ее сплавов — пассивированием.

Основные данные наиболее распространенных грунтовок приведены в табл. 23. Для черных металлов, меди и ее сплавов можно использовать грунтовки ФЛ-03К, АК-070 и ЭП-09Т, для алюминия и его сплавов — грунтовку ФЛ-03Ж. Детали, имеющие гальванические покрытия, грунтуются фосфатирующими грунтовками ВЛ-02 и ВЛ-03. Грунтовка наносится на деталь тонким слоем, режим сушки указан в табл. 23. После нанесения двух слоев грунтовки производится окраска эмалью в два слоя Некоторые марки эмалей, свойства эмалей, рабочий режим и режим сушки приведены в табл. 24. Наиболее универсальной эмалью, пригодной для эксплуатации практически в любых климатических условиях, при воздействии агрессивных газов и морского климата является эмаль ХВ-124.

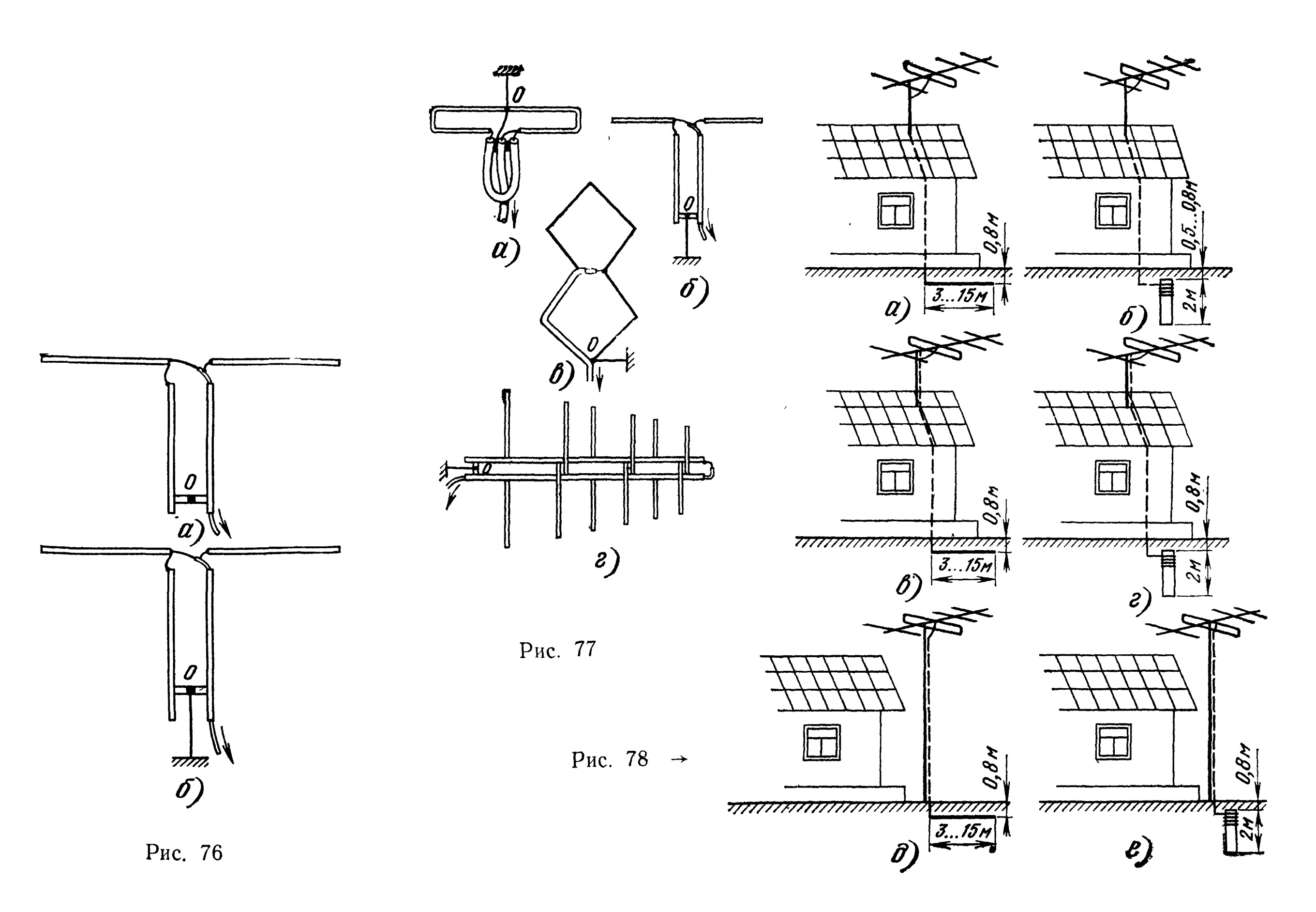


Рис. 76

Рис. 77

Рис. 78 →

В тех условиях, когда между окрашенными деталями должен быть обеспечен электрический контакт, нужно перед нанесением грунтовки защитить с помощью липкой ленты те поверхности детали, которые не должны быть окрашены. Лента снимается после просыхания эмали.

ГЛАВА 11.
ГРОЗОЗАЩИТА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ АНТЕНН

Для защиты телевизионных приемников от грозовых разрядов антенна должна быть оборудована системой грозозащиты. Грозозащита антенн коллективного пользования, устанавливаемых в городах на многоэтажных зданиях при устройстве систем коллективного приема телевидения и эфирных систем кабельного телевидения, предусматривается проектом на установку антенны и является обязательной. Это обеспечивает надежную защиту телевизионных приемников, подключенных к распределительным сетям таких систем. Телевизионные приемники, подключенные к индивидуальным антеннам, также будут надежно защищены от грозовых разрядов, если грозозащита выполнена с соблюдением определенных правил. Нужно отметить, что качественное выполнение системы грозозащиты индивидуальных антенн в сельской местности является особенно важным в местах, удаленных от железных дорог и линий электропередач.

Для правильного выполнения системы грозозащиты рассмотрим принцип ее действия на примере простой телевизионной антенны — линейного разрезного вибратора (рис. 76). На рис. 76, а показан вибратор без устройства грозозащиты. При использовании такого вибратора в качестве самостоятельной антенны либо в качестве активного вибратора сложной антенны (например, антенны типа «волновой канал») через центральный проводник кабеля снижения на вход телевизионного приемника может попасть грозовой разряд. Если же вибратор заземлить по постоянному току через малое сопротивление (рис. 76, б), то грозовой разряд будет замкнут через это сопротивление и вход телевизионного приемника будет защищен от попадания опасного потенциала.

Система грозозащиты состоит из провода токоотвода и заземлителя. Для нормальной работы системы грозозащиты следует правильно выбрать на антенне точку, к которой должен быть подключен провод токоотвода. При выборе этой точки необходимо исходить из следующих соображений.

С одной стороны, точки подключения провода токоотвода должна иметь очень малое сопротивление (не более долей ома) по постоянному току относительно центрального проводника кабеля снижения. С другой стороны, подключение провода токоотвода не должно приводить к нарушению нормальной работы антенны, т. е. к изменению ее входного сопротивления и диаграммы направленности, что возможно в том случае, когда точка подключения провода токоотвода является точкой нулевого потенциала по высокой частоте. Если снова обратиться к рис. 76, б, то можно видеть, что точкой на линейном разрезном вибраторе, к которой следует подключить провод токоотвода, является

точка нулевого потенциала 0, расположенная в середине короткозамыкающей перемычки симметрирующего мостика.

Расположение точек нулевого потенциала на некоторых распространенных антеннах показано на рис. 77 (рис. 77, а — петлевой вибратор, рис. 17, в — зигзагообразная антенна, рис. 77, г — логопериодическая антенна). Отметим, что при устройстве системы грозозащиты желательно соединить точку нулевого потенциала с внешним проводником (экраном) кабеля снижения, как это показано на рис. 77, а.

На рис. 78 приведены некоторые распространенные варианты устройства системы грозозащиты индивидуальных антенн.

1. Антенна с металлической мачтой на металлической или неметаллической (шифер, рубероид) кровле (рис. 78. а, б).

Верхнюю часть мачты с помощью контактной перемычки соединить с точкой нулевого потенциала антенны, к нижней части мачты подключить провод токоотвода (стальной или медный) диаметром 3 ... 4 мм либо шину толщиной 1,5 ... 2 мм и шириной 7 ... 8 мм, проложить провод по кровле и стене дома, закрепив в нескольких местах скобами, и закопать на глубине около 0,8 м. При этом длина горизонтального луча, находящегося в земле, должна составлять: в глинистой почве 2 ... 3 м, суглинке — 4 ... 5 м, черноземе — 6 ... 7 м, песке — 12 ... 15 м. В описанном варианте системы грозозащиты заземлителем является продолжение токоотвода. Система грозозащиты, показанная на рис. 78, б, отличается только заземлителем, в качестве которого использована металлическая труба длиной около 2 м, верхний торец которой находится на расстоянии 0,5 ... 0,8 м от поверхности земли. В качестве заземлителя можно применить также металлический угольник той же длины.

2. Антенна с деревянной мачтой на металлической или неметаллической кровле (рис. 78, в, г).

К точке нулевого потенциала антенны подключить провод токоотвода, проложить его вдоль мачты, по кровле и стене дома, закрепив в нескольких местах скобами, и закопать на глубине около 0,8 м. Сечение провода токоотвода и длина горизонтального луча, находящегося в земле, выбираются так же, как описано выше для антенны с металлической мачтой.

3. Антенна с деревянной мачтой около дома (рис. 78, д, е).

К точке нулевого потенциала антенны подключить провод токоотвода, проложить его вдоль мачты, закрепив в нескольких местах скобами, и закопать на глубине около 0,8 м. Сечение провода токоотвода и длина горизонтального луча (заземлителя) выбираются так же, как в описанных выше вариантах. В качестве заземлителя могут быть использованы также труба или угольник (рис. 78, е). У металлической мачты точка нулевого потенциала антенны соединяется с верхней частью мачты, а к ее нижней части подключается заземлитель.

При устройстве грозозащиты все соединения следует выполнять с помощью сварки или пайки. Если такая возможность отсутствует, то соединения можно выполнить плотным зажимом под болт, предварительно зачистив контактные места от ржавчины. После затяжки болтового соединения его нужно покрыть асфальтовым лаком или другим кислотоупорным составом.

ОГЛАВЛЕНИЕ